



# UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

## **Relación entre diversidad funcional de la vegetación leñosa con variables de clima y biomasa aérea en bosques andinos del macizo del Cajas**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero (a) Agrónomo (a)

### **Autores:**

Paola Michelle Benalcázar Ochoa

CI: 0704389618

Christian Santiago Toledo Fajardo

CI: 0105667430

### **Director:**

Ing. Ángel Oswaldo Jadán Maza M. Sc

CI: 110329806

CUENCA - ECUADOR

20-enero-2020

**Resumen:**

La alta diversidad biológica de los bosques andinos es la base biológica para la comprensión del funcionamiento de estos ecosistemas, ligado a los servicios ecosistémicos y bienestar humano. En el presente estudio se generó información sobre la diversidad funcional a través de rasgos funcionales de la vegetación leñosa en remanentes de bosques maduros dentro de la Reserva de la Biosfera Macizo del Cajas. Aquí, se instalaron 20 parcelas en dos pisos altitudinales: en la parte alta (San Gerardo - Girón) y la parte baja (San Antonio de Chaucha - Cuenca). Metodológicamente, en primer lugar, se realizó la identificación de grupos funcionales de especies según cinco rasgos funcionales: Área foliar específica (AFE), grosor foliar (GF), materia seca (MS), Área foliar (AF) y densidad de la madera. Mediante un análisis multivariado y según la similitud de los rasgos se agruparon dos grupos funcionales de especies. Se investigó mediante correlaciones, entre siete rasgos funcionales, adicionando a la altura del pecho (DAP) a 1.3 m del suelo y altura total (H), con variables climáticas y de altitud. En las correlaciones que resultaron ser significativas y con un coeficiente de determinación  $\geq 0.7$  se realizaron regresiones lineales; procedimiento similar se lo hizo para las relaciones entre los siete rasgos funcionales con biomasa aérea. Se registraron 136 especies vegetales; de estas 69 se agruparon en el conglomerado 1 o conservacionistas y 67 especies en el conglomerado 2 o adquisitivas. Para el segundo objetivo cinco correlaciones registraron un coeficiente  $\geq 0.7$ ; aquí la precipitación está mayormente correlacionada con la H, AFE y DAP. De todos los rasgos funcionales el DAP se correlacionó mayormente con la precipitación, temperatura y altitud. Finalmente, la relación entre los rasgos funcionales y biomasa aérea presentaron cinco correlaciones significativas, pero solo tres rasgos se correlacionaron fuertemente: DAP, H y el AFE. Se concluyó que los rasgos de H, DM y DAP fueron los mejores estimadores de la biomasa aérea.



**Palabras claves:** Altitud. Grupos funcionales. Precipitación. Rasgos funcionales. Temperatura.

**Abstract:**

The highest biological diversity of the Andean forests is the biological basis for understanding the functioning of these ecosystems, linked to ecosystem services and human well-being. According to the research, information about functional diversity was found through functional features of woody vegetation in remnants of mature forests within the Cajas Massif Biosphere Reserve. Here, 20 plots were installed on two altitude floors: in the upper part (San Gerardo - Girón) and the lower part (San Antonio de Chaucha - Cuenca). Basically, the first step was based on the identification of functional groups of specie according to five functional traits: Specific leaf area (AFE), leaf thickness (GF), dry matter (MS), Foliar area (AF) and wood density. Through a multivariate analysis and according to the similarity of the traits, two functional groups of species were grouped. It was investigated through correlations, between seven functional traits, adding to chest height (DAP) at 1.3 m from the ground and total height (H), with climatic and altitude variables. In the correlations that proved to be significant and with a coefficient of determination  $\geq 0.7$ , linear regressions were performed; Similar procedure was done for the relationships between the seven functional traits with aerial biomass. 136 plant species were registered; of these 69 were grouped in conglomerate 1 or conservationists and 67 species in conglomerate 2 or acquisitive. For the second objective, five correlations recorded a coefficient  $\geq 0.7$ . Here precipitation is mostly correlated with H, AFE and DAP. Of all the functional traits, DAP correlated mostly with precipitation, temperature and altitude. Finally, the relationship between functional traits and aerial biomass presented five significant correlations, but only three traits were strongly correlated: DAP, H and AFE. It was concluded that the traits of H, DM and DAP were the best estimators of the aerial biomass.

**Keywords:** Altitude. Functional groups. Precipitation. Functional traits. Temperature.



## TABLA DE CONTENIDOS

LISTA DE TABLAS.....	7
LISTA DE FIGURAS .....	8
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGIA .....	9
AGRADECIMIENTOS .....	14
DEDICATORIA.....	15
1. INTRODUCCIÓN .....	16
2. JUSTIFICACIÓN .....	19
3. OBJETIVOS .....	21
3.1. Objetivo General.....	21
3.2. Objetivos específicos .....	21
4. HIPÓTESIS.....	21
5. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	22
5.1. Diversidad funcional en bosques tropicales andinos .....	22
5.2. Rasgos funcionales en la vegetación .....	23
5.3. Grupos funcionales de plantas en bosques tropicales.....	24
5.4. Relación entre rasgos funcionales .....	25
5.5. Relación de rasgos funcionales con el clima .....	26
5.6. Relación entre rasgos funcionales y acumulación de biomasa aérea .....	27
5.7. Cambio climático y su impacto en bosques tropicales andinos.....	29
6. MATERIALES Y MÉTODOS .....	30
6.1. Materiales .....	30
6.2. Ubicación y descripción del estudio .....	30
6.3. Establecimiento de parcelas.....	31
6.4. Evaluación de los rasgos funcionales .....	32
6.5. Identificación de grupos funcionales (primer objetivo específico) .....	33



6.6. Relaciones entre rasgos funcionales con precipitación y temperatura (segundo objetivo específico).....	34
6.7. Relaciones entre rasgos funcionales con biomasa aérea (tercer objetivo específico)	35
7. RESULTADOS.....	36
7.1. Identificación de grupos funcionales (primer objetivo específico) .....	36
7.2. Relaciones entre rasgos funcionales con la precipitación y temperatura (segundo objetivo específico).....	45
7.3. Relaciones entre rasgos funcionales con biomasa aérea (tercer objetivo específico)	56
8. DISCUSIÓN .....	60
8.1. “Grupos funcionales de plantas en bosques de montaña en el Macizo del Cajas” ....	60
8.2. Rasgos funcionales de la vegetación de bosques andinos varían conforme se incrementa la precipitación y temperatura.....	61
8.3. Relaciones entre rasgos funcionales con biomasa aérea .....	64
9. CONCLUSIONES .....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA .....	67
ANEXOS.....	73



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ecuaciones para cálculo de diferentes rasgos funcionales. ....	33
<b>Tabla 2.</b> Medias de rasgos funcionales obtenidos en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. mediante MANOVA (Hotelling; $P < 0.05$ ).....	37
<b>Tabla 3</b> Familias con mayores y menores número de especies según sus grupos funcional presentes obtenidos en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. ....	38
<b>Tabla 4.</b> Especies y familias botánicas pertenecientes a los diferentes grupos funcionales registradas) obtenidos en dos pisos altitudinales (B. Chaucha y B. San Gerardo) dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas.....	38
<b>Tabla 5.</b> Rasgos funcionales y sus valores medios, desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV) obtenidos en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. ....	46
<b>Tabla 6.</b> Promedios y comparaciones (ANOVA; $P < 0,05$ ) de los rasgos funcionales obtenidos en dos pisos altitudinales (B. Chaucha y B. San Gerardo) dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. ....	46
<b>Tabla 7.</b> Variables climáticas y altitud y sus valores medios, desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV) obtenidos en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. ....	47
<b>Tabla 8.</b> Variables climáticas y altitud obtenidos en dos pisos altitudinales (B. Chaucha y B. San Gerardo) dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Mediante ANOVA (Fisher; $P < 0.05$ ).....	47
<b>Tabla 9.</b> Correlaciones de Pearson ( $P < 0.05$ ) entre variables de rasgos funcionales y variables de clima obtenidos en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. ....	49
<b>Tabla 10.</b> Biomasa aérea y sus valores medios, desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. ....	56
<b>Tabla 11.</b> Biomasa aérea obtenidos en dos pisos altitudinales (B. Chaucha y B. San Gerardo) dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. mediante ANOVA (Fisher; $P < 0.05$ ) .....	57
<b>Tabla 12.</b> Correlaciones de Pearson entre variables de Biomasa aérea y rasgos funcionales obtenidos en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. ....	57

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación de las parcelas dentro de la zona de estudio .....	31
<b>Figura 2.</b> Diseño de parcela de investigación instaladas en las áreas de investigación .....	32
<b>Figura 3.</b> Grupos funcionales (adquisitivas y conservacionistas) diferenciados mediante análisis de conglomerados a nivel de especie) obtenidos en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas.....	36
<b>Figura 4.</b> Regresión lineal entre Altitud con diámetro a la altura del pecho (DAP) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan las parcelas ubicadas de menor a mayor altitud. ....	51
<b>Figura 5.</b> Regresión lineal entre la relación precipitación media anual (PMA) con diámetro a la altura del pecho (DAP) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan sitios de menor a mayor altitud.....	52
<b>Figura 6.</b> Regresión lineal entre la relación temperatura máxima anual con diámetro a la altura del pecho (DAP) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan sitios de menor a mayor altitud. ....	53
<b>Figura 7.</b> Regresión lineal entre la relación temperatura media anual (TMM) con diámetro a la altura del pecho (DAP) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan sitios de menor a mayor altitud.....	54
<b>Figura 8.</b> Regresión lineal entre la altitud con altura (H), en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan sitios de menor a mayor altitud. ....	55
<b>Figura 9.</b> Regresión lineal entre la precipitación media anual (PMA) con altura total (H) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan sitios de menor a mayor altitud. ....	55
<b>Figura 10.</b> Regresión lineal entre Precipitación media anual (PMA) con el área foliar específica (AFE) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan las parcelas ubicadas de menor a mayor. ....	56
<b>Figura 11.</b> Regresión lineal entre el diámetro a la altura del pecho (DAP) con biomasa aérea (B) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan sitios de menor a mayor altitud.....	58
<b>Figura 12.</b> Regresión lineal entre la altura máxima (H) con biomasa aérea (B) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan sitios de menor a mayor altitud. ....	59





## **ABREVIATURAS Y SIMBOLOGIA**

AF: Área foliar

AFE: Área foliar específica

MS: Materia seca foliar

DAP: Diámetro a la altura del pecho

DF: Diversidad funcional

DM: Densidad de madera

GEI: Gas de efecto invernadero

GF: Grosor foliar

H: altura máxima

MS: Materia seca

PMA: Precipitación media anual

SOC: Soil Organic Carbon

TMA: Temperatura máxima anual

TMINA: Temperatura mínima anual

TMM: Temperatura media mensual

TFPs: Tipos funcionales de plantas



### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Paola Michelle Benalcázar Ochoa en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Relación entre diversidad funcional de la vegetación leñosa con variables de clima y biomasa aérea en bosques andinos del macizo del Cajas", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 20 de enero del 2020

Paola Michelle Benalcázar Ochoa

C.I: 0704389618



### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Paola Michelle Benalcázar, autora del trabajo de titulación “Relación entre diversidad funcional de la vegetación leñosa con variables de clima y biomasa aérea en bosques andinos del macizo del Cajas”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 20 de enero del 2020

Paola Michelle Benalcázar Ochoa

C.I: 0704389618



### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Christian Santiago Toledo Fajardo en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Relación entre diversidad funcional de la vegetación leñosa con variables de clima y biomasa aérea en bosques andinos del macizo del Cajas", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 20 de enero del 2020

---

Christian Santiago Toledo Fajardo

C.I: 0105667430



### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Christian Santiago Toledo Fajardo, autor del trabajo de titulación "Relación entre diversidad funcional de la vegetación leñosa con variables de clima y biomasa aérea en bosques andinos del macizo del Cajas", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 20 de enero del 2020

Christian Santiago Toledo Fajardo

C.I: 0105667430



## AGRADECIMIENTOS

Queremos mostrar nuestra gratitud a todas aquellas personas que estuvieron presentes en la realización de esta investigación, de manera muy especial queremos agradecerle al Ing. Oswaldo Jadán nuestro director de tesis quien con sus conocimientos y guías fue un pilar importante para la culminación de este estudio; además por su tiempo, paciencia y amistad brindada. También agradecer profundamente al Ing. Hugo Cedillo por su amistad y apoyo para la correcta culminación en la fase de campo; agradecer todos los que se vieron involucrados en este proyecto como los señores del transporte de la Universidad de Cuenca, compañeros estudiantes que colaboraron en la fase de campo, a las personas que habitan en los lugares donde se realizó la investigación los cuales nos brindaron su colaboración y acogida en todo momento; por último, pero no menos importante a nuestro equipo de trabajo que en este tiempo forjamos una gran amistad

Paola Benalcázar, Santiago Toledo.



## DEDICATORIA

*Se la dedico de manera especial a la persona más importante a mi hermana Solange por ser mi motivación y la fuerza para la culminación de mi Tesis. A mis padres Norma y Ramiro, por su ejemplo de superación, humildad y sacrificio, por la ayuda moral y económica brindada para la culminación de esta investigación; a mi hermano Juan por su amistad y apoyo a seguir adelante sin rendirme.*

### **PAOLA**

*La familia siempre será un pilar importante en la formación de las personas, por esto dedico este trabajo de tesis a mis padres por haberme forjado como un ser humano de bien y de valores, en especial dedico este trabajo a mi madre Mariana Fajardo la cual siempre me brindó su apoyo incondicional para lograr cumplir este objetivo como persona y como estudiante.*

### **SANTIAGO**

## 1. INTRODUCCIÓN

Los bosques andinos poseen una alta diversidad florística y son considerados uno de los centros con mayor riqueza de plantas vasculares del mundo (Rafiqpoor, Kier, & Kreft, 2005). Esta diversidad o riqueza es la base para comprender en funcionamiento de estos ecosistemas, con base a los beneficios o servicios ecosistémicos que brindan al ambiente (Farley, Bremer, Harden, & Hartsig, 2013; Shen et al., 2016).

Se conoce técnica y científicamente, que los bosques andinos son sensibles a cambios en su composición y estructura provocado por fenómenos naturales como el cambio climático (Herzog, Martínez, Jørgensen, & Tiessen, 2011) y también por la intervención antropogénica (Cubides & Cardona, 2011). Esta intervención artificial se basa especialmente en prácticas agrícolas extensivas relacionadas a la implementación de cultivos agrícolas y ganadería (Tapia-Armijos, Homeier, Espinosa, Leuschner, & de la Cruz, 2015). También se presentan como amenaza hacia los bosques y ecosistemas naturales, la minería que se desarrolla de manera formal e informal a lo largo de los Andes (Pohle, 2014). Todo esto conlleva a un fenómeno ambiental conocido como la deforestación.

Dentro de la valoración de los ecosistemas forestales se han realizado evaluaciones sobre su diversidad taxonómica y estructura, lo cual ha permitido marcar líneas que documenten las existencias florísticas en diferentes ecosistemas de vegetación natural (O. Cabrera et al., 2019; Jadán et al., 2017). Sin embargo, esa información no es suficiente para conocer minuciosamente cuales son los verdaderos beneficios de los bosques hacia el ambiente. Estos beneficios se basan en la función que cumplen los ecosistemas forestales con sus componentes de diversidad y estructurales (Báez & Homeier, 2018). Esto ha sido investigado dentro o entre las especies a través de rasgos funcionales, los mismos que permiten predecir cuales son las especies o grupos funcionales de especies, son las que aportan con mayor o menor magnitud a ciertos servicios



ambientales (Finegan, Peña-Claros, de Oliveira, Ascarrunz, Bret-Harte, Carreño-Rocabado, Casanoves, Díaz, Eguiguren Velepucha, et al., 2015).

La clasificación de plantas mediante grupos funcionales también es utilizada para evaluar las estrategias de vida de las plantas, como adquieren, usan y aprovechan los recursos del ambiente para realizar sus diferentes procesos eco fisiológicos. Se afirma que la función del ecosistema forestal no depende del número de especies, sino más bien de los rasgos funcionales que existen dentro o entre las especies (Mason, MacGillivray, Steel, & Wilson, 2003). Se indica que las plantas naturalmente poseen diferentes formas morfológicas o rasgos funcionales lo cual, asociado con el ambiente, implica cambios en su fenología, fisiología y reproducción. Con base a estas diferencias, las plantas desarrollan diferentes estrategias de supervivencia y dominancia, diferenciándoles como especies adquisitivas y conservacionistas (Díaz, Fargione, Chapin III, & Tilman, 2006).

Estudios en bosques neotropicales han diferenciado que las especies adquisitivas son las que presentan rasgos asociados a una alta área foliar específica - AFE, baja materia seca foliar - MS, hojas grandes, delgadas, suaves, ricas en nutrientes (Estrella & Diego, 2010). También se afirma que las adquisitivas poseen densidades de madera – DM bajas es decir maderas más blandas y son de rápido crecimiento (Escalante, Oliva, & Quintana, 2019)

Por lo contrario, las especies conservativas son las que toman recursos de formas discreta o más conservadora. Sus rasgos se relacionan con un área foliar específica – AFE bajo, alta densidad de la madera - DM, hojas duras y pequeñas, y bajo contenido de nutrientes (Estrella & Diego, 2010). Poseen densidad de madera – DM alta ya que almacenan biomasa mediante la asimilación de productos fotosintéticos en estructuras de larga vida. Tal razón hace que su crecimiento sea menor pero viven más tiempo, por lo que esta estrategia es considerada como conservacionista (Escalante et al., 2019).

Los rasgos funcionales con factores abióticos (temperatura y precipitación) en su mayoría se correlacionan con altura total - H y densidad de la madera – DM, porque estos rasgos están asociados con el crecimiento de la planta y condiciones climáticas. Las especies han generado estrategias de supervivencia frente a factores medioambientales que pueden generar estrés provocando un mayor gasto energético, y de esta manera interviniendo en el crecimiento de las especies. (Pedraza, 2018).

Mediante un enfoque de diversidad funcional en la presente investigación se pretende establecer las relaciones existentes entre los rasgos funcionales y la biomasa área de la vegetación existente en dos pisos altitudinales en el sur del Ecuador. El presente estudio generó información sobre los grupos funcionales de especies mediante metodologías aplicadas en bosques naturales de la región tropical. Se pretende que esta información permita contribuir a establecer estrategias de conservación y manejo de la vegetación en la zona de estudio.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La conservación y el manejo sostenible de los bosques naturales son aspectos que son de gran importancia para el desarrollo de la sociedad contemporánea por la calidad y cantidad de bienes y servicios que brindan (Araya et al., 2007; Young & León, 1995). Los rasgos funcionales brindan información de la función que las especies desempeñan en el ecosistema y su respuesta ante un determinado factor ambiental y los impactos ecológicos de su pérdida (Flynn et al., 2009). Es así que realizar investigación en zonas con poca información es muy importante, como es el caso de los bosques andinos, para entender el comportamiento de las diferentes especies existentes en estos ecosistemas.

De manera general se ha documentado que los bosques andinos cumplen un rol clave en la provisión de bienes y servicios ecosistémicos ya que: regulan el clima y son reguladores dentro del suministro de agua, atenúan las inundaciones y las sequías, mitigan las emisiones de gases de efecto invernadero – GEI. También mantienen los hábitats y microhábitats a diferentes escalas lo que permite la permanencia de la biodiversidad a largo plazo (Anderson et al., 2017).

En el Sur del Ecuador, los bosques andinos son ecosistemas de alta diversidad biológica – florística (O. Cabrera et al., 2019; Homeier, Breckle, Günter, Rollenbeck, & Leuschner, 2010; Jadán et al., 2017; Valencia, 2000). Forman parte de uno de los hotspots a nivel mundial (Myers, Mittermeier, Mittermeier, Da Fonseca, & Kent, 2000). Son reconocidos como los sitios de mayor riqueza de especies en el mundo (Rafiqpoor et al., 2005). Sin embargo, en ciertos lugares o remanentes de bosques como los existentes en la vertiente occidental de los Andes en la provincia del Azuay, presentan vacíos de información que permitan conocer y valorar los rasgos funcionales con base a su diversidad en bosques nativos.

Los rasgos funcionales son importantes porque evidencian el comportamiento de las especies y dan indicios de la respuesta que presentan ante variables climáticas. (M. Cabrera &

Ramírez, 2014) Las condiciones climáticas intervienen directamente sobre el crecimiento, reproducción y la supervivencia de las especies.(Reich, 2014). En cuanto a la biomasa aérea, el uso de rasgos funcionales para su estimación conjunto con modelos matemáticos establecidos es de suma importancia al ser métodos no destructivos con el medio ambiente y el costo de extracción es menor. (Jérôme Chave et al., 2014; Pulido, 2014).

Ante esto es necesario emprender procesos de investigación en los remanentes de bosques maduros. La ejecución de la presente investigación permitió conocer con base a rasgos morfológicos de la vegetación o rasgos funcionales como grupos leñosas andinas se relacionan con variables de clima, especialmente de precipitación y temperatura. Además de como acumulan biomasa como resultado del proceso fotosintético.

La información generada servirá especialmente, como herramienta de gestión para valorarlos, manejarlos y consérvalos articuladamente entre actores sociales e instituciones públicas o privadas encargadas de manejar ecosistemas naturales. Su conservación permitirá que estos ecosistemas sigan brindando beneficios locales y globales.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General**

➤ Aportar al conocimiento sobre la diversidad funcional a través de rasgos funcionales en bosques tropicales andinos.

#### **3.2. Objetivos específicos**

1. Identificar grupos funcionales de plantas leñosas en dos pisos altitudinales en bosques andinos, en el macizo del Cajas.

2. Establecer relaciones entre los rasgos funcionales con variables de climáticas de temperatura y precipitación, en bosques andinos en el macizo del Cajas.

3. Determinar la relación entre rasgos funcionales con la biomasa aérea en bosques andinos, en el macizo del Cajas.

### **4. HIPÓTESIS**

➤ En dos pisos altitudinales existen grupos funcionales de plantas diferenciados significativamente por características morfológicas

➤ Los rasgos funcionales de la vegetación de bosques andinos varían conforme se incrementa la precipitación y temperatura.

➤ La biomasa leñosa aérea se relaciona significativamente con la variación de los rasgos funcionales de la vegetación de los bosques andinos.

## **5. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **5.1. Diversidad funcional en bosques tropicales andinos**

En los últimos años ha crecido aceleradamente el interés por la diversidad de caracteres de los organismos o también conocido como diversidad funcional. (Casanoves, Pla, & Di Rienzo, 2011). La diversidad funcional es definido por el valor, rango, distribución y abundancia relativa de los caracteres funcionales de los organismos que constituyen un ecosistema (Díaz et al., 2007).

Los patrones sobre la riqueza de plantas en los ecosistemas forestales andinos ha sido un foco de investigación de los ecólogos por más de un siglo (Pennington et al., 2010; Rebok, 2003). Estudios muestran la extensa riqueza de especies de plantas existente a lo largo de todos los Andes especialmente en la región tropical (Kier et al., 2005; Mutke & Barthlott, 2005). Un eje alternativo de la biodiversidad de especies es la diversidad funcional, ya que es una función del organismo y no nombres de especies que interactúan con el medio ambiente y evolucionan en función del mismo (Swenson & Weiser, 2010). Es por eso que para entender el funcionamiento y distribución geográfica de la biodiversidad de especies se debe considerar la distribución de la diversidad funcional de los organismos (Swenson, 2011).

Otro vinculo potencial para la distribución y diversidad funcional de especies, es el grado de filtrado abiótico a lo largo de un gradiente ambiental dentro de un lugar de estudio (Weiher, Clarke, & Keddy, 1998). Aunque no exista un solo mecanismo que explique la distribución de las especies y la diversidad funcional, hay pruebas que en gradientes ambientales y su influencia sobre el filtrado abiótico, ha permitido explicar una gran parte de la variación espacial en la diversidad funcional en comunidades de plantas (Swenson, Anglada-Cordero, & Barone, 2010). Este filtrado abiótico se basa en factores ambientales, climáticos y edáficos que se asocian con los rasgos específicos de la vegetación como respuesta a las condiciones que le presenta el

ambiente (Finegan, Peña-Claros, de Oliveira, Ascarrunz, Bret-Harte, Carreño-Rocabado, Casanoves, Díaz, Velepucha, et al., 2015; Santiago-García, Finegan, & Bosque-Pérez, 2019).

## **5.2. Rasgos funcionales en la vegetación**

Los rasgos funcionales es el valor, rango, distribución y abundancia de los rasgos funcionales de todos los organismos que se encuentran en un ecosistema (Díaz et al., 2011). Un rasgo funcional mide propiedades que poseen los organismos a nivel individual, el cual se utiliza para comparar especies evaluando el crecimiento, reproducción y supervivencia (Pla, Casanoves, & Di Rienzo, 2011).

Los atributos funcionales que poseen las diferentes plantas en un ecosistema es un indicador funcional esencial de las características de las especies existentes que permiten un equilibrio y procesamiento de los recursos (Leps, De Bello, Lavorel, & Berman, 2006). Los rasgos más comunes que se han estudiado para la obtención de rasgos funcionales han sido el área foliar - AF, área foliar específica - AFE y materia seca foliar – MS. En la actualidad se han incluido otros rasgos que son de gran importancia como la densidad de la madera - DM, la cual está estrechamente relacionada con la supervivencia y el crecimiento de las plantas (Jerome Chave et al., 2009).

Cuando se obtiene grupos funcionales, a pesar de que posean los mismos rasgos funcionales, existen especies que poseen altos valores o magnitudes en ciertos rasgos dentro del grupo funcional. Así se diferencian grupos que podrían adoptar mayores resiliencias, porque tendrá mayor variedad de caracteres adaptativos a las perturbaciones. Es decir a mayor varianza de rasgos en un grupo, mayor será la capacidad de respuesta a perturbaciones naturales y mayor número de grupos funcionales dentro de un ecosistema se espera una mayor resiliencia (Martín-López, González, Díaz, Castro, & García-Llorente, 2007).

Estudio realizado por Vásquez-Valderrama and Solorza-Bejarano (2018) encontraron que cuando las especies presentan el área foliar mayor, la densidad de madera es menor. Esta respuesta se explica por la mayor inversión de energía que aplican las especies para mantener altas tasas de recambio y altas tasas fotosintéticas para maximizar la captura de recursos. Esto opuestamente al no generar tallos duros, con altas resistencias, por lo que se comportan como especies adquisitivas. Este tipo de estudios se realiza con cada uno de los rasgos de las especies para conformar grupos funcionales de acuerdo a sus características específicas en un determinado ecosistema. En la presente investigación se lo realizó en dos sitios en bosques andinos del macizo del Cajas.

### **5.3. Grupos funcionales de plantas en bosques tropicales**

La idea de formar grupos funcionales de plantas es determinar las especies que cumplen un mismo rol en el ecosistema (Osnas et al., 2018). En cuanto a la determinación del número de grupos funcionales se define según el criterio exploratorio basado en características que presenta la vegetación (Pla et al., 2011).

Los estudios realizados en diferentes altitudes en bosques tropicales han sido de mucha utilidad al momento de caracterizar las plantas ante las repuestas del clima. Dentro de gradientes altitudinales se pueden encontrar características funcionales diferentes debido a las variaciones climáticas que existen, como la temperatura, precipitación, humedad, suelo y velocidad del viento (Báez & Homeier, 2018; Brown, 1997).

Un estudio realizado por Bermeo (2010) demuestra que la identificación de grupos funcionales de plantas basados en rasgos funcionales, brinda un enfoque consistente para la comprensión sobre la respuesta de la vegetación a factores ambientales y su distribución en un gradiente altitudinal. Aquí, rasgos funcionales como: el área foliar - AF, área foliar específica - AFE, materia seca foliar - MS, fuerza física de las hojas, densidad de madera - DM, contenido



foliar de nitrógeno y contenido foliar de fósforo, permitieron agrupar grupos funcionales de plantas. También existe la referencia de que constantes cambios climáticos provocados por el calentamiento global, los tipos funcionales de plantas pueden cambiar en abundancia y dominancia, causado por la migración de especies (Díaz et al., 2007)

En la vegetación está demostrado que mediante los rasgos fenotípicos y su interacción entre especies tienen efectos constantes en las funciones fisiológicas a nivel individual de las plantas, es por tal razón que las especies tienden a generar estrategias (Thuiller et al., 2006). Dentro de los bosques las plantas han desarrollado estrategias de supervivencia para adaptarse al medio según la disponibilidad de recursos presentes; esto se va ver reflejado en sus rasgos para diferenciarlos como: 1) especies adquisitivas; 2) especies conservativas, y también como, 3) especies mixtas (Vera, 2013).

Especies adquisitivas: Son especies capaces de adquirir los recursos rápidamente y su crecimiento es rápido, esta capacidad de adquisidor las hacen pioneras y rasgos asociados a una alta área foliar específica - AFE baja materia seca foliar - MS, hojas grandes, delgadas, suaves, ricas en nutrientes.(Estrella & Diego, 2010). Por lo contrario, las especies conservativas son más pausadas y la toma de recursos lo realizan de formas discreta o más conservadora. Por tal razón su crecimiento es tardío y sus rasgos se relacionan con un área foliar específica – AFE baja, alta densidad de la madera - DM, hojas duras y pequeñas, y bajo contenido de nutrientes. (Estrella & Diego, 2010).

#### **5.4. Relación entre rasgos funcionales**

En vista del papel importante que juegan los bosques en generar servicios ecosistémicos, se han desarrollado estudios para indagar relaciones entre rasgos funcionales de la vegetación y su aporte hacia el ambiente (Deckers, Verheyen, Hermy, & Muys, 2004). Muchos de estos estudios han llegado a la conclusión de que para entender el funcionamiento de los ecosistemas

no depende del número de especies, sino de los rasgos morfológicos que estas presentan (Mason et al., 2003). Para esta medición se utilizan rasgos funcionales simples o a veces complejos los cuales explican las características funcionales.

Por ejemplo; el área foliar específica - AFE conjuntamente con la materia seca foliar - MS, reflejan un intercambio en el funcionamiento de la planta entre una rápida producción de biomasa y una eficiente conservación de nutrientes (Garnier & Navas, 2012). La densidad de madera - DM es un rasgo que esta correlacionado con el contenido de carbono y con numerosas propiedades morfológicas, mecánicas, fisiológicas y ecológicas. (Jérôme Chave et al., 2006).

Estudios han demostrado una variedad de rasgos funcionales importantes, relacionados con cambios significativos en la estrategia ecológica entre especies y la compensación de adaptación subyacente entre los rasgos. (L Poorter et al., 2008; S. J. Wright et al., 2010). Por ejemplo, el área foliar específica de la hoja - AFE, mide el área de la hoja que intercepta la luz por la masa seca invertida (Lourens Poorter & Bongers, 2006; I. J. Wright et al., 2004). Cuando se habla de la materia seca foliar - MS, refleja la cantidad de tejido asimilatorio versus compuestos estructurales encontrados en una hoja (Kazakou, Vile, Shipley, Gallet, & Garnier, 2006). La altura máxima del árbol – H, va a representar la capacidad de competir con las especies (Ruiz-Jaen & Potvin, 2011).

También es importante para relacionar rasgos más simples de medir con los más complejos y mediante modelos matemáticos simplificar su cálculo, lo que permitirá minimizar recursos en evaluaciones ecológicas futuras. (Matteucci & Colma, 1982) .

### **5.5. Relación de rasgos funcionales con el clima**

El estudio realizado por Pedraza (2018) nos muestra que las relaciones realizadas entre los rasgos y los factores climáticos no fueron siempre significativos en todas las relaciones. Sin

embargo, los resultados obtenidos muestran que con el aumento de temperatura y precipitación hay una disminución de dichos rasgos. Es decir que existe una relación inversa entre los rasgos funcionales y las condiciones climáticas.

Para el caso de área foliar específica - AFE las condiciones extremas el clima favorecen a su disminución. En cuanto a la densidad de la madera - DM registró relación con todas las variables climáticas lo que indica que este rasgo es sensible a los factores ambientales extremos. En lo que concierne a los rasgos de área foliar - AF y altura máxima del árbol - H tienen una relación directa con las variables de clima, lo que implica que el aumento de precipitación o temperatura los favorece.

## **5.6. Relación entre rasgos funcionales y acumulación de biomasa aérea**

Es importante mencionar que la biomasa aérea se correlaciona positivamente con carbono almacenado debido a su cálculo directo con base a una constante de conversión. En la ecología es un objetivo fundamental comprender como la biodiversidad afecta el funcionamiento del ecosistema. El interés sobre la relación entre la diversidad funcional y la acumulación de biomasa - carbono creció en el contexto del cambio climático en las últimas cuatro décadas, especialmente en los ecosistemas de bosques naturales (Cavanaugh et al., 2014; Santiago-García et al., 2019).

Ciertos estudios han relacionado los rasgos funcionales con la acumulación de biomasa aérea y su carbono almacenado ya que las especies de árboles con diferentes características tienen capacidad diferente para capturar, almacenar y liberar carbono (Conti & Díaz, 2013). Otros estudios han determinado que el índice de diversidad funcional tiene la capacidad de cuantificar características funcionales de la vegetación con respecto al almacenamiento de carbono (Finegan, Peña-Claros, de Oliveira, Ascarrunz, Bret-Harte, Carreño-Rocabado, Casanoves, Díaz, Eguiguren Velepucha, et al., 2015; Shen et al., 2016). Esto a través del rango,

el valor y la abundancia relativa de ciertos rasgos funcionales como la densidad de la madera - DM de las especies de una comunidad (Villéger, Mason, & Mouillot, 2008).

Investigaciones se han direccionado a entender la relación entre la diversidad funcional y el almacenamiento de carbono de lo que se han obtenido diferentes resultados. Así, Ruiz-Jaen and Potvin (2011) encontraron diferentes factores de explicación entre bosques naturales y plantación; en los bosques de plantación registró que la riqueza de especies presento una mayor acumulación de biomasa y de carbono almacenado. Contrariamente, la biomasa aérea y carbono almacenado en el bosque natural dependió de la dominancia funcional. Otros estudios han reportado que tanto la diversidad taxonómica como la dominancia funcional se correlaciona positivamente con el almacenamiento de carbono (Cavanaugh et al., 2014).

Cavanaugh et al. (2014) realizo un estudio en once bosques tropicales en América, África y Asia en donde investigaron la influencia positiva que tiene los gradientes ambientales y la diversidad funcional sobre la biomasa aérea y almacenamiento de carbono. Sin embargo, no registraron relaciones significativas, por lo que concluyeron que estas relaciones pueden estar ocultas por las limitaciones en la precisión de las estimaciones, de almacenamiento de datos y la obtención de los datos ambientales.

Shen et al. (2016) en su investigación registraron que en los lugares donde se encuentran las especie, la alta convexidad de los sitios en los bosques tropicales tiene efectos positivos en el almacenamiento de carbono. No obstante, en cuadrantes con mayor fertilidad de suelo el almacenamiento de carbono fue relativamente menor. También registraron que el diámetro a la altura del pecho - DAP es el mejor predictor del almacenamiento de carbono (Shen et al., 2016).

### **5.7.Cambio climático y su impacto en bosques tropicales andinos**

El cambio climático es una amenaza para los ecosistemas y con esto afecta a la población global; el cambio climático se viene dando por el aumento de los Gases de Efecto Invernadero – GEI. (Mogrovejo Jaramillo, 2017)

Se conoce que los bosques andinos son sensibles a cambios en su composición y estructura provocado por fenómenos naturales como el cambio climático (Herzog et al., 2011). Por lo que la variación del clima en los bosques presenta cambios positivos o negativos tanto en su estructura como funcionamiento y en casos extremos hasta pérdidas de la biodiversidad. Así también, si existiese una modificación en la estructura y funcionamiento de los bosques estos afectarían el clima tanto local como a nivel mundial. (Mogrovejo Jaramillo, 2017).

Variaciones climáticas altas pueden producir una disminución de las especies y una modificación rápida de la composición y estructura de bosques, es decir sus rasgos funcionales cambiaran su estructura o morfología. También se puede producir cambios bruscos en la fenología de las especies y una pérdida de la capacidad defensiva que poseen las especies.(Cramer et al., 2001). Es evidente la pérdida de biodiversidad y funcionalidad por dificultad de adaptación de las especies lo cual provoca su migración e incluso la extinción natural, en especies poco elásticas con baja capacidad de adaptarse a un diferente nicho ecológico (Foster, 2001).

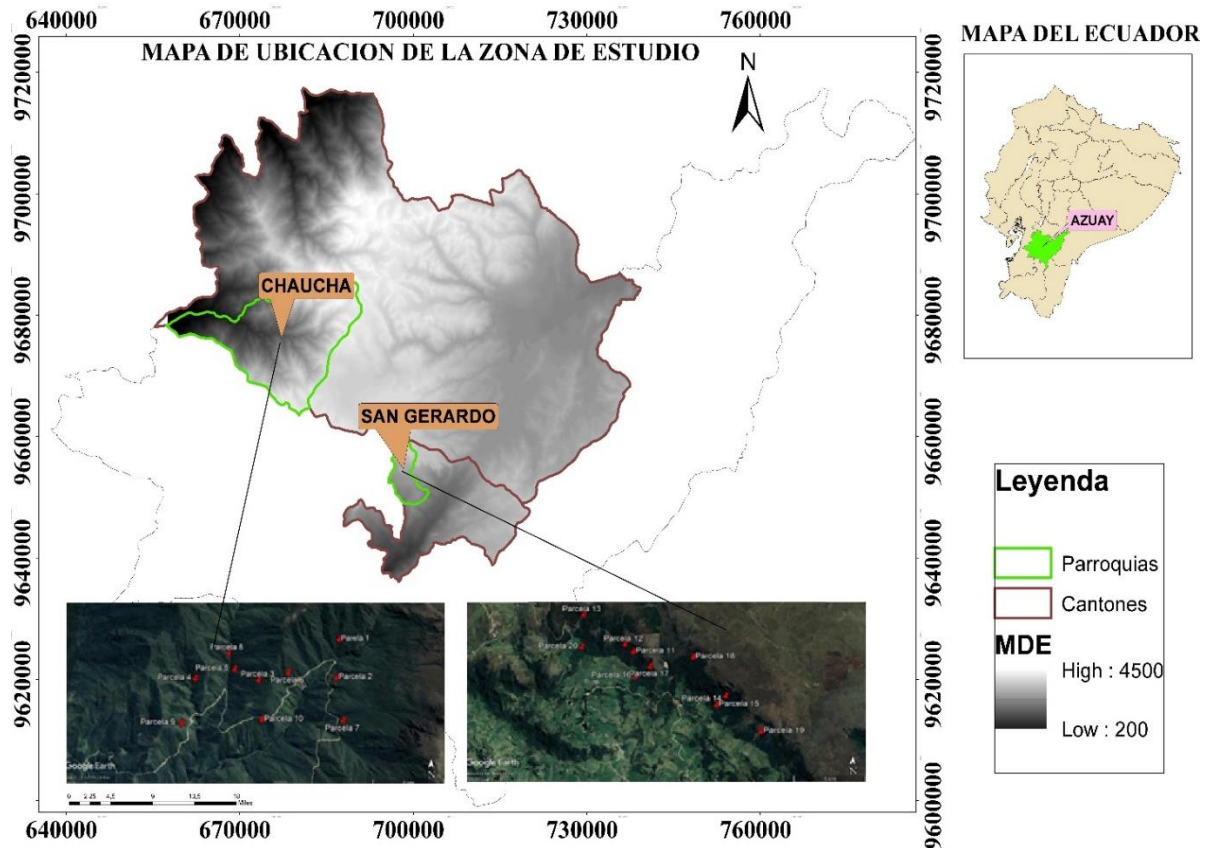
## **6. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **6.1. Materiales**

Para la evaluación de las muestras botánicas que se obtuvieron en las parcelas fue se utilizó los siguientes de materiales y equipos: Brújula, GPS, cinta métrica, piolas, cinta diamétrica, binoculares, martillo, clavos, placas, cámara fotográfica, hojas de campo, tijeras de podar, podadoras manuales, machetes, prensas botánicas, fundas plásticas y de papel, escáner, navajas, balanza, calibradores, sensor de temperatura y humedad, estufa y escáner.

### **6.2. Ubicación y descripción del estudio**

El área de investigación se localizó en el Sur del Ecuador, provincia del Azuay, en los remanentes de bosques maduros dentro de la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Macizo del Cajas. En la parte alta, los remanentes están en zonas mayores a 3000 msnm (San Gerardo - Cantón Girón) y en la parte baja dentro de 2000 - 3000 msnm (San Antonio de Chaucha - Cantón Cuenca) (Figura 1). Todos estos remanentes están dentro de la vertiente occidental de la cordillera de los Andes. Según las formaciones vegetales estos remanentes de bosques van desde ecosistemas de vegetación natural de Bosque siempreverde de montano en las menores altitudes, hasta montano alto en la parte alta. El área de investigación fue dividida en dos pisos altitudinales: 1) entre 2000 a 3000 y 2) zonas mayores 3000 msnm. Ver Figura 1.

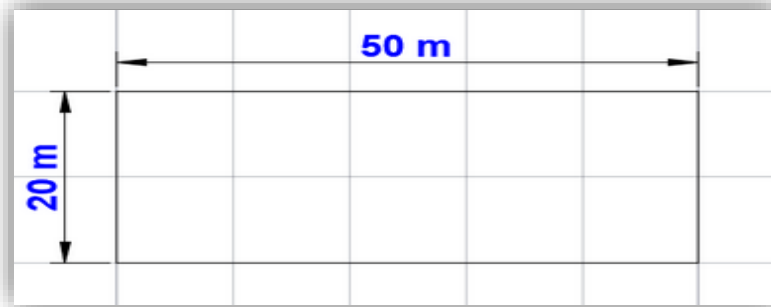


*Figura 1. Mapa de ubicación de las parcelas dentro de la zona de estudio*

### 6.3. Establecimiento de parcelas

La toma de datos se lo realizó en 20 parcelas ubicadas en dos pisos altitudinales: 10 parcelas en Chaucha y 10 parcelas en San Gerardo, cuyas parcelas fueron instaladas dentro de parches de bosques naturales maduros. Cada parche de bosque que se seleccionó debía poseer al menos 2 ha de superficie. Las parcelas instaladas tuvieron una distancia horizontal mínima de 300 m entre ellas, para lograr independencia en las variables medidas y abarcar la máxima variabilidad de las variables a evaluar.

Cada parcela establecida posee un área de 1000 m<sup>2</sup> (20 m x 50 m), dividida en 10 sub-parcelas con un área de 10 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m) para una mayor agilidad al momento de la recolección de las muestras (Figura 2).



**Figura 2.** *Diseño de parcela de investigación instaladas en las áreas de investigación*

#### **6.4. Evaluación de los rasgos funcionales**

En cada piso altitudinal se recolectó muestras botánicas de buen estado fitosanitario de todas las especies arbóreas, con al menos cinco repeticiones de especies arbóreas en cada una de las parcelas para luego realizar la identificación taxonómica hasta nivel de especie considerando individuos con DAP (diámetro a la altura de 1.3 m sobre el nivel del suelo)  $\geq$  a 2.5 cm; también se midió y registro el DAP y H de cada individuo. De todas las especies identificadas se obtuvieron los siguientes rasgos funcionales: 1) área foliar - AF ( $\text{mm}^2$ ); 2) área foliar específica – AFE ( $\text{mm}^2/\text{ml}$ ); 3) materia seca foliar - MS ( $\text{gg}^{-1}$ ); 4) densidad de la madera – DM ( $\text{g cm}^{-3}$ ); 5) diámetro a la altura del pecho - DAP (cm); 6) altura máxima - H (m); 7) grosor foliar - GF (mm). Para los rasgos funcionales se tomaron muestras de hojas más expuestas al sol de todo el follaje de al menos 5 individuos con diferentes alturas.

El área foliar - AF se midió de al menos cinco hojas de cada individuo utilizando un scanner digital LI-COR modelo LI-3100C Área meter (Anexo 6). De estas hojas se pesó la masa fresca después de escanear, y luego se las secó en una estufa a 90 °C durante al menos 48 horas para determinar la materia seca foliar - MS (Anexo 7). El área foliar específica – AFE se calculó como la proporción entre el área foliar - AF y la masa seca (Ecuación 1, Tabla 1) y se determinó la materia seca foliar - MS dividiendo la masa seca foliar para la masa fresca



(Ecuación 2, Tabla 1). La densidad de la madera - DM se calculó como la relación de la masa seca de la madera y su volumen fresco (Ecuación 3, Tabla 1); para ello se recogió muestras de ramas gruesas sin nudos ( $\geq 2$  cm de diámetro) de cinco individuos por cada especie (Anexo 8). El DAP y altura total de cada árbol fueron medidos para cada especie dentro del área de estudio como se muestra en la (Anexo 9) y (Anexo 10) respectivamente.

**Tabla 1.** Ecuaciones para cálculo de diferentes rasgos funcionales.

Ecuaciones	
1) <i>AFE</i> — <i>Area foliar específica</i>	$= \frac{\text{Area foliar}}{\text{materia seca}}$
2) <i>MS</i> — <i>Materia Seca</i>	$= \frac{\text{Masa seca}}{\text{Masa fresca}}$
3) <i>Densidad madera</i>	$= \frac{\text{Peso seco}}{\text{Volumen}}$
4)	$\text{Biomasa aerea} = 0.0673 \times (\text{densidad de la madera} \times \text{DAP}^2 \times \text{altura del arbol})^{0.976}$

## 6.5. Identificación de grupos funcionales (primer objetivo específico)

Para determinar los grupos funcionales de especies, se basó en el estudio realizado por Bermeo (2010) en donde se identificó estos grupos a partir de rasgos funcionales. Para ello se realizó un análisis multivariado o de conglomerados utilizando el método de Ward y la distancia Euclídea con datos estandarizados. Este análisis permitió agrupar a priori dos grupos funcionales de especies, según la similitud conjunta de los siguientes rasgos: área foliar – AF; área foliar específica – AFE; materia seca foliar - MS; densidad de la madera - DM; diámetro a la altura del pecho - DAP; altura máxima - H; grosor foliar - GF.

Posteriormente los datos fueron sometidos a un análisis de similitudes ANOSIM y de varianza multivariado (MANOVA) con la prueba de Hotelling, los dos con un  $P < 0.05$  considerando como variable de clasificación o tratamientos, a los dos grupos funcionales de especies separados anteriormente. Esto permitió validar significativamente la separación de los dos grupos. En cuanto a los rasgos funcionales de diámetro a la altura del pecho - DAP y altura máxima - H, no fueron tomados en cuenta en este objetivo ya que son rasgos dependientes de la edad, en los individuos los cuales fueron considerados con diámetros bajos dentro del presente estudio.

A cada grupo se lo caracterizó mediante sus especies y familias botánicas, y por las medias de cada uno de sus rasgos funcionales. En este objetivo se identificó las especies pertenecientes a los grupos funcionales de conservacionistas, con aquellas especies que registraron un área foliar específica - AFE menor, alta materia seca foliar - MS, densidad de la madera - DM superior, y hojas pequeñas (Bermeo, 2010). Estos valores fueron comparados con los valores del segundo grupo de especies que fueron consideradas como especies adquisitivas, las cuales son capaces de adquirir recursos rápidamente, con base a su rápido crecimiento, mayor área foliar específica - AFE, baja materia seca foliar - MS, hojas grandes y delgadas (Estrella & Diego, 2010).

#### **6.6. Relaciones entre rasgos funcionales con precipitación y temperatura (segundo objetivo específico)**

Se realizó un análisis de variación descriptivo con respecto a las medias de todos los rasgos funcionales en toda el área de estudio; también de las variables climáticas. Para consolidar la variación de los rasgos funcionales y variables de clima se realizó un análisis de varianza comparando los dos bosques; para ello se aplicó el test de LSD-Fisher ( $P < 0.05$ ).

También se consideró el promedio de cada rasgo funcional y variables de clima por cada parcela. Las variables de clima fueron obtenidas de la base mundial Woldclim que registra datos de precipitación y temperatura con 50 años de registro; para ello se utilizó los datos de las coordenadas geográficas. El tamaño de cada pixel en kilómetros es equivalente a un kilómetro cuadrado cada uno.

Con los valores obtenidos de rasgos funcionales y de clima se investigó correlaciones paramétricas por presentar datos normales. En las correlaciones positivas o negativas que resultaron significativas ( $P < 0.05$ ). Se realizó regresiones lineales con las correlaciones significativas ( $P < 0.05$ ) y con un coeficiente de determinación  $\geq 0.7$  considerando como variables independientes (X) a las variables de clima y como dependientes a los rasgos funcionales (Y). Para este análisis se utilizó el programa estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2011).

#### **6.7. Relaciones entre rasgos funcionales con biomasa aérea (tercer objetivo específico)**

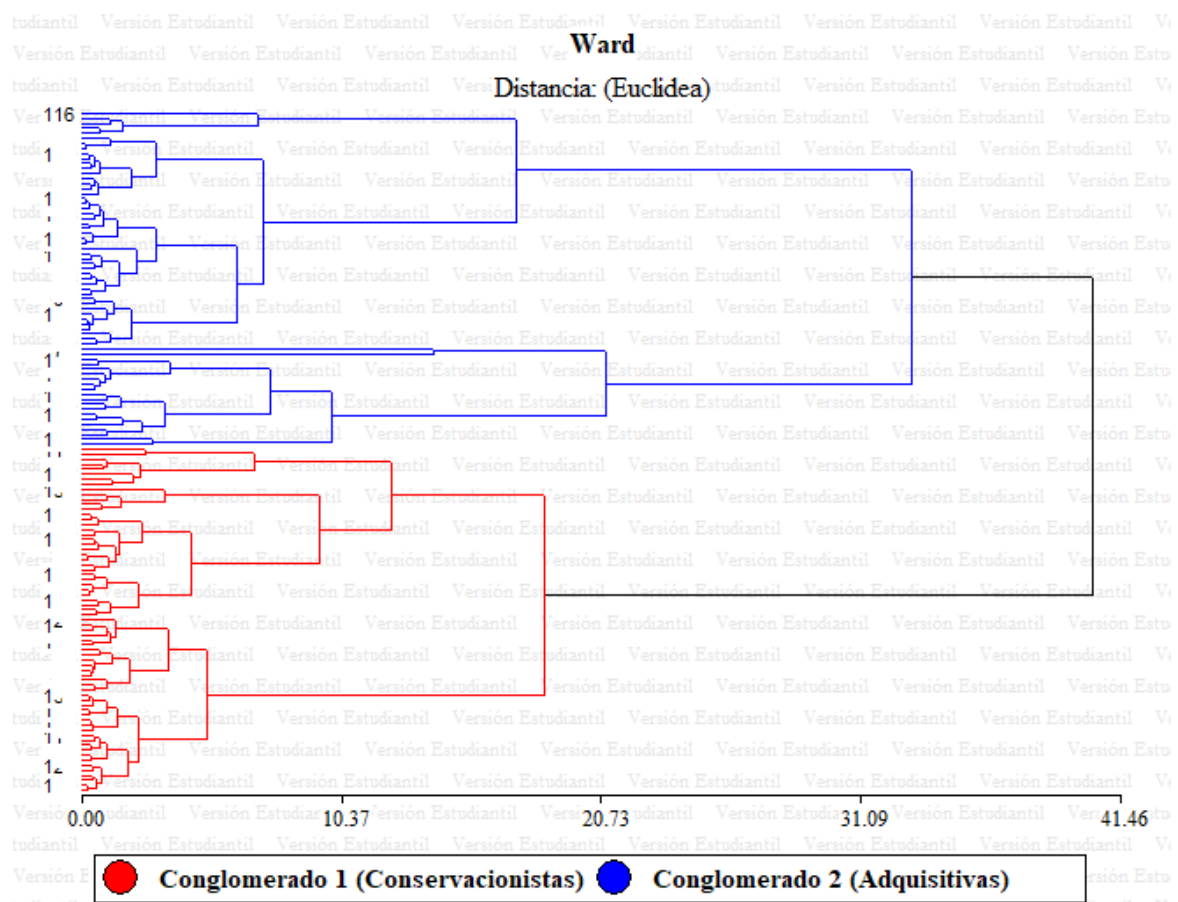
Se tomó todos los rasgos funcionales determinados en el segundo objetivo. La biomasa aérea de los biotipos o individuos leñosos  $\geq$  a 2.5 cm, se calculó a partir de la ecuación matemática diseñadas para bosques tropicales andinos (Jérôme Chave et al., 2006). (Ecuación 4, Tabla 1).  $Biomasa\ aerea = 0.0673 \times (densidad\ de\ la\ madera \times DAP^2 \times altura\ del\ arbol)^{0.976}$ .

Con los datos de los rasgos funcionales y la biomasa área total calculada en cada parcela, se realizó correlaciones para determinar su asociación positiva o negativa. Luego, con las correlaciones que fueron significativas estadísticamente ( $P < 0.05$ ) y que tuvieron un coeficiente de determinación  $\geq 0.7$  se realizó regresiones lineales. Para este análisis se utilizó el programa estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2011).

## 7. RESULTADOS

### 7.1. Identificación de grupos funcionales (primer objetivo específico)

En la zona de estudio se identificaron 136 especies dispersas en 20 subparcelas estudiadas. Aquí se separó e identificó 2 grupos funcionales bien diferenciados a través del análisis de conglomerado (método de separación Ward, distancia Ecuclidea) (Figura 3). Esta separación fue valida significativamente bajo el análisis de similitudes ANOSIM ( $P = 0.002$ ) y análisis multivariado MANOVA ( $P < 0.0001$ ). A través del dendrograma resultante el análisis de conglomerado se agruparon 69 especies en el grupo o conglomerado 1 y 67 especies en el conglomerado 2. Se puede evidenciar en la (Tabla 3) las especies de acuerdo a su grupo o conglomerado al cual pertenece.



**Figura 3.** Grupos funcionales (adquisitivas y conservacionistas) diferenciados mediante análisis de conglomerados a nivel de especie) obtenidos en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas.

Con respecto a los grupos funcionales, las especies del conglomerado 1 registraron menor área foliar - AF, menor área foliar específica - AFE, mayores valores en densidad de la madera - DM, grosor foliar GF y materia seca foliar – MS por lo que se infiere claramente que son especies conservacionistas (Tabla 2). Opuestamente, las especies del grupo 2, presentaron valores opuestos a las especies del conglomerado 1, por lo que serían consideradas como especies adquisitivas.

**Tabla 2.** Medias de rasgos funcionales obtenidos en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. mediante MANOVA (Hotelling;  $P < 0.05$ ).

Grupos funcionales (conglomerados)	Área foliar (mm <sup>2</sup> )	Área foliar específica (mm <sup>2</sup> /ml)	Densidad de la madera (gr/cm <sup>3</sup> )	Grosor foliar (mm)	Materia seca foliar (gg <sup>-1</sup> )	
Especies conservacionistas (1)	3377.48	9.37	0.48	0.22	0.41	A
Especies adquisitivas (2)	5882.3	16.65	0.4	0.19	0.24	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

Las familias botánicas que mostraron el mayor número de especies para el grupo funcional de las adquisitivas fueron Asteraceae, Melastomataceae y Solanaceae (Tabla 3). En este mismo grupo funcional las familias que mostraron una sola especie fueron Thymelaeaceae, Actinidiaceae, Bignoniaceae. (Anexo 1)

Para el grupo funcional de especies conservacionistas, las familias botánicas que mostraron el mayor número de especies fueron Asteraceae, Lauraceae, Primulaceae, Proteaceae y Solanaceae (Tabla 3). Para el mismo grupo funcional las familias que mostraron una sola especie fueron especie de las familias Aquifoliaceae y Araliaceae. (Anexo 1)

**Tabla 3** Familias con mayores y menores número de especies según sus grupos funcional presentes obtenidos en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas.

Grupo funcional de adquisitivas		Grupo funcional de conservacionistas	
Familia	Número de especies	Familia	Número de especies
Asteraceae	18	Asteraceae	9
Melastomataceae	8	Lauraceae	7
Solanaceae	6	Primulaceae	6
Chloranthaceae	3	Proteaceae	6
Araliaceae	2	Solanaceae	5
Boraginaceae	2	Myrtaceae	4
Lamiaceae	2	Ericaceae	3
Polygalaceae	2	Melastomataceae	3
Rubiaceae	2	Myrsinaceae	3
Symplocaceae	2	Rosaceae	2
Thymelaeaceae	1	Symplocaceae	2
Actinidiaceae	1	Aquifoliaceae	1
Bignoniaceae	1	Araliaceae	1

El grupo funcional de las especies conservacionistas estuvo formado por 69 especies y el de adquisitivas por 67 especies. A estas se las puede observar en la (Tabla 4), según el grupo correspondiente.

**Tabla 4.** Especies y familias botánicas pertenecientes a los diferentes grupos funcionales registradas) obtenidos en dos pisos altitudinales (B. Chaucha y B. San Gerardo) dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas.

Especie	Familia	Conservacionistas	Adquisitivas
---------	---------	-------------------	--------------

<i>Acalypha</i> sp.	Euphorbiaceae	X	
<i>Aegiphila ferruginea</i> Hayek & Spruce	Lamiaceae	X	
<i>Aegiphila</i> sp.	Lamiaceae		X
<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) B.D. Jacks.	Lamiaceae		X
<i>Ageratina pichinchensis</i> (Kunth) R.M. King & H. Rob.	Asteraceae		X
<i>Aiouea dubia</i> (Kunth) Mez	Lauraceae	X	
<i>Aniba coto</i> (Rusby) Kosterm.	Lauraceae	X	
<i>Aniba muca</i> (Ruiz & Pav.) Mez	Lauraceae	X	
<i>Ardisia</i> sp.	Myrsinaceae	X	
<i>Aristeguietia buddleaeifolia</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.	Asteraceae		X
<i>Axinaea confusa</i> E. Cotton	Melastomataceae		X
<i>Axinaea macrophylla</i> (Naudin) Triana	Melastomataceae		X
<i>Axinaea meriania</i> (DC.) Triana	Melastomataceae		X
<i>Baccharis brachylaenoides</i> DC.	Asteraceae		X
<i>Baccharis elaeagnoides</i> Steud. ex Baker	Asteraceae		X
<i>Baccharis emarginata</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Asteraceae		X
<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Asteraceae		X
<i>Baccharis oblongifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Asteraceae		X
<i>Barnadesia arborea</i> Kunth	Asteraceae	X	
<i>Beilschmiedia</i> sp.	Lauraceae	X	
<i>Besleria divaricata</i> Poepp.	Gesneriaceae		X



<i>Byrsonima</i> sp.	Malpighiaceae		X
<i>Cavendishia bracteata</i> (Ruiz & Pav. ex J. St.-Hil.) Hoerold	Ericaceae	X	
<i>Cestrum</i> sp.	Solanaceae	X	
<i>Cinchona pubescens</i> Vahl.	Rubiaceae		X
<i>Citharexylum</i> sp.	Verbenaceae	X	
<i>Citronella incarum</i> (J.F. Macbr.) R.A. Howard	Cardiopteridaceae	X	
<i>Cleome longifolia</i> C. Presl.	Cleomaceae		X
<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae	X	
<i>Clusia alata</i> Triana & Planch.	Clusiaceae	X	
<i>Cornus peruviana</i> J.F. Macbr.	Cornaceae	X	
<i>Critoniopsis floribunda</i> (Kunth) H. Rob.	Asteraceae	X	
<i>Critoniopsis</i> sp.	Asteraceae	X	
<i>Critoniopsis cotopaxensis</i> H. Rob.	Asteraceae		X
<i>Critoniopsis pycnantha</i> (Benth.) H. Rob.	Asteraceae		X
<i>Critoniopsis sevilana</i> (Cuatrec.) H. Rob.	Asteraceae		X
<i>Critoniopsis sodiroi</i> (Hieron.) H. Rob.	Asteraceae	X	
<i>Cybianthus</i> sp. Mart.	Primulaceae	X	
<i>Cybianthus marginatus</i> (Benth.) Pipoly	Primulaceae	X	
<i>Cybianthus punctatus</i> (Mez) G. Agostini	Primulaceae	X	
<i>Daphnopsis macrophylla</i> (Kunth) Gilg	Thymelaeaceae		X
<i>Delostoma integrifolium</i> D. Don	Bignoniaceae		X
<i>Dendrophorbium</i> sp.	Asteraceae	X	





<i>Dendrophorbium lloense</i> (Hieron.) C. Jeffrey	Asteraceae		X
<i>Dendrophorbium tipocochensis</i> (Domke) B. Nord.	Asteraceae		X
<i>Disterigma alaternoides</i> (Kunth) Nied	Ericaceae	X	
<i>Endlicheria formosa</i> A.C. Sm.	Lauraceae		X
<i>Escallonia myrtilloides</i> L. f.	Escalloniaceae	X	
<i>Eugenia</i> sp.	Myrtaceae	X	
<i>Ferreyranthus verbascifolius</i> (Kunth) H. Rob. & Brettell	Asteraceae		X
<i>Ficus dulciaria</i> Dugand	Moraceae	X	
<i>Fuchsia ayavacensis</i> Kunth	Onagraceae		X
<i>Gaiadendron punctatum</i> (Ruiz & Pav.) G. Don	Loranthaceae	X	
<i>Geissanthus vanderwerffii</i> pipoly	Primulaceae	X	
<i>Geissanthus andinus</i> Mez	Primulaceae	X	
<i>Geissanthus ecuadorensis</i> Mez	Primulaceae	X	
<i>Graffenrieda</i> sp.	Melastomataceae		X
<i>Gynoxys azuayensis</i> Cuatrec.	Asteraceae	X	
<i>Gynoxys</i> sp.	Asteraceae	X	
<i>Gynoxys baccharoides</i> (Kunth) Cass.	Asteraceae	X	
<i>Gynoxys laurifolia</i> (Kunth) Cass.	Asteraceae		X
<i>Gynoxys rimbachii</i> Cuatrec.	Asteraceae		X
<i>Hedyosmum cumbalense</i> H. Karst.	Chloranthaceae		X



<i>Hedyosmum goudotianum</i> Solms	Chloranthaceae		X
<i>Hedyosmum luteynii</i> Todzia	Chloranthaceae		X
<i>Hedyosmum scabrum</i> (Ruiz & Pav.) Solms	Chloranthaceae	X	
<i>Heliotropium indicum</i> L.	Boraginaceae		X
<i>Hesperomeles obtusifolia</i> (Pers) Lindl.	Rosaceae	X	
<i>Ilex myricoides</i> Kunth	Aquifoliaceae	X	
<i>Indeterminada</i>	Indeterminada		X
<i>Lauracea</i> sp.	Lauraceae	X	
<i>Lepechinia heteromorpha</i> (Briq.) Epling	Lamiaceae		X
<i>Liabum</i> sp.	Asteraceae		X
<i>Lycianthes</i> sp.	Solanaceae		X
<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Ericaceae	X	
<i>Macrocarpaea</i> sp.	Gentianaceae		X
<i>Markea</i> sp.	Solanaceae	X	
<i>Maytenus</i> sp.	Celastraceae		X
<i>Maytenus verticillata</i> (Ruiz & Pav.) DC.	Celastraceae	X	
<i>Meliosma</i> sp.	Sabiaceae		X
<i>Meriania tomentosa</i> (Cogn.) Wurdack	Melastomataceae	X	
<i>Miconia</i> sp.	Melastomataceae		X
<i>Miconia crocea</i> (Desr.) Naudin	Melastomataceae		X
<i>Miconia denticulata</i> Naudin	Melastomataceae	X	
<i>Miconia ligustrina</i> (Sm.) Triana	Melastomataceae	X	
<i>Miconia lutescens</i> (Bonpl.) DC.	Melastomataceae		X

<i>Miconia salicifolia</i> Bonpl. ex Naudin	Melastomataceae	X
<i>Monnina hirta</i> (Bonpl.) Eriksen	Polygalaceae	X
<i>Monnina pilosa</i> Kunth	Polygalaceae	X
<i>Myrcianthes discolor</i> (Kunth) McVaugh	Myrtaceae	X
<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (Kunth) McVaugh	Myrtaceae	X
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.	Myrsinaceae	X
<i>Myrsine depends</i> (RAP) Spreng	Myrsinaceae	X
<i>Myrsine andina</i> (Mez) Pipoly	Myrsinaceae	X
<i>Ocotea infrafoveolata</i> van der Werff	Lauraceae	X
<i>Oreocallis grandiflora</i> (Lam.) R. Br.	Proteaceae	X
<i>Oreopanax andreanum</i> Marchal	Araliaceae	X
<i>Oreopanax avicenniaefolium</i> (Kunth) Decne. & Planch.	Araliaceae	X
<i>Oreopanax rosei</i> Harms	Araliaceae	X
<i>Palicourea amethystina</i> (Ruiz & Pav.) DC.	Rubiaceae	X
<i>Palicourea heterochroma</i> K. Schum. & K. Krause	Rubiaceae	X
<i>Panopsis ferruginea</i> (Meisn.) Pittier	Proteaceae	X
<i>Panopsis polystachya</i> (Kunth) Kuntze	Proteaceae	X
<i>Pentacalia</i> sp.	Asteraceae	X
<i>Persea brevipes</i> Meisn.	Lauraceae	X



<i>Phenax hirtus</i> (Sw.) Wedd.	Urticaceae		X
<i>Piper andreanum</i> C. DC	Piperaceae		X
<i>Polylepis incana</i> Kunth	Rosaceae	X	
<i>Prumnopitys montana</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) de Laub.	Podocarpaceae	X	
<i>Psidium guineense</i> Sw.	Myrtaceae	X	
<i>Roupala pachypoda</i> Cuatrec.	Proteaceae	X	
<i>Roupala</i> sp.	Proteaceae	X	
<i>Roupala dolichopoda</i> Diels	Proteaceae	X	
<i>Saurauia bullosa</i> Wawra	Actinidiaceae		X
<i>Siparuna muricata</i> (Ruiz & Pav.) A. DC.	Monimiaceae		X
<i>Solanum amotapense</i> Svenson	Solanaceae		X
<i>Solanum</i> sp.	Solanaceae	X	
<i>Solanum torvum</i> Sw.	Solanaceae		X
<i>Solanum asperolanatum</i> Ducke	Solanaceae		X
<i>Solanum barbatulum</i> Zahlbr	Solanaceae	X	
<i>Solanum cutervanum</i> Zahlbr.	Solanaceae		X
<i>Solanum goniocaulon</i> S. Knapp	Solanaceae		X
<i>Solanum hypacrarthrum</i> Bitter	Solanaceae	X	
<i>Symplocos bogotensis</i> Brand	Symplocaceae		X
<i>Symplocos canescens</i> B. Ståhl	Symplocaceae	X	
<i>Symplocos nuda</i> Bonpl.	Symplocaceae	X	
<i>Symplocos quitensis</i> Brand	Symplocaceae		X
<i>Tournefortia fuliginosa</i> kunth	Boraginaceae	X	

<i>Tournefortia scabrida</i> kunth	Boraginaceae	X
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Cannabaceae	X
<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Elaeocarpaceae	X
<i>Verbesina</i> sp.	Asteraceae	X
<i>Verbesina eggersii</i> Hieron.	Asteraceae	X
<i>Viburnum pichinchense</i> Benth.	Viburnaceae	X
<i>Viburnum triphyllum</i> Benth.	Viburnaceae	X
<i>Weinmannia fagaroides</i> Kunth	Cunoniaceae	X

## 7.2. Relaciones entre rasgos funcionales con la precipitación y temperatura (segundo objetivo específico)

Los distintos rasgos funcionales evaluados dentro del área de estudio mostraron alta variación. Es así que el área foliar - AF varió tres veces, el área foliar específica – AFE dos veces, el diámetro a la altura de pecho - DAP tres veces, la altura total - H cuatro veces, la densidad de la madera - DM 1.6 veces, el grosor foliar - GF y materia seca foliar - MS tres veces, con respecto a los valores mínimos y máximos registrados en las 20 parcelas (Tabla 5) Estas variaciones se las pueden evidenciar a través del coeficiente de variación.

En todos los rasgos funcionales, el ANOVA mostró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los bosques ubicados en diferentes pisos altitudinales, a excepción del GF (Anexo 2); se registraron mayores valores en el área foliar – AF y densidad de la madera - DM en el bosque ubicado en Chaucha, mientras que el área foliar específica - AFE, diámetro a la altura del pecho – DAP y altura total - H mostraron mayores valores en referencia al bosque ubicado en San Gerardo (Tabla 6)

**Tabla 5.** Rasgos funcionales y sus valores medios, desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV) obtenidos en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas.

Variable	Numero de parcelas	Media	D.E.	CV (%)	Mínimo	Máximo
AF (mm <sup>2</sup> )	20	4621.2	1538.7	33.3	2330.8	7854.1
AFE (mm <sup>2</sup> /ml)	20	12.9	2.7	21.5	7.3	17.1
DAP (cm)	20	10.08	2.9	28.8	5.2	15.9
H (m)	20	7.5	2.2	29	3.5	11.5
DM (g cm <sup>-3</sup> )	20	0.4	0.04	10.9	0.3	0.5
GF (mm)	20	0.1	0.06	31.7	0.1	0.3
MS (gg <sup>-1</sup> )	20	0.3	0.1	37.4	0.2	0.6

AF = área foliar (mm<sup>2</sup>); AFE= área foliar específica (mm<sup>2</sup>/ml). DAP= diámetro máximo (cm); H= altura máxima (m); DM= densidad de la madera (g cm<sup>-3</sup>); GF= grosor foliar (mm); MS= materia seca foliar (gg<sup>-1</sup>).

**Tabla 6.** Promedios y comparaciones (ANOVA;  $P < 0,05$ ) de los rasgos funcionales obtenidos en dos pisos altitudinales (B. Chaucha y B. San Gerardo) dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas.

Rasgos funcionales	B. Chaucha	B. San Gerardo	F	P
AF (mm <sup>2</sup> )	5504.43	3738.01	9.56	0.0063
AFE (mm <sup>2</sup> /ml)	11.03	14.92	18.81	0.0004
DAP (cm)	7.95	12.21	23.34	0.0001
H (m)	5.92	9.26	27.60	0.0001
DM (g cm <sup>-3</sup> )	0.43	0.39	4.80	0.0419
MS (gg <sup>-1</sup> )	0.41	0.27	8.40	0.0096

Las variables ambientales presentaron variación en las parcelas del área de estudio. Es así que la precipitación media anual - PMA varió 1.62 veces, la temperatura máxima anual - TMA 1.43 veces, la temperatura media anual - TMM 1.64 veces, la temperatura mínima anual - TMIN 2.3 veces, y la altitud varió 1.38 veces. Estas variaciones se dan con respecto a los valores mínimos y máximos obtenidos de las 20 parcelas (Tabla 7). Estas variaciones pueden ser verificadas mediante el coeficiente de variación.

**Tabla 7.** Variables climáticas y altitud y sus valores medios, desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV) obtenidos en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas.

Variables	Variable	N	Media	D.E.	CV	Mín.	Máx.
Climáticas	PMA (mm)	20	1030.96	212.84	20.64	802.61	1304.78
	TMA (°C)	20	15.58	2.12	13.63	13.1	18.7
	TMM (°C)	20	9.93	1.89	19	7.73	12.7
	TMINA (°C)	20	4.78	1.5	31.41	3	6.9
Altitud	Altitud (m s.n.m.)	20	3051.25	350.11	11.47	2504	3462

PMA: Precipitación media anual (mm); TMA: Temperatura máxima anual (°C) TMM: Temperatura media mensual (°C); TMINA: Temperatura mínima anual (°C)

En los dos pisos altitudinales (Bosque de Chaucha y Bosque de San Gerardo), el ANOVA registró en todas las variables climáticas y de altitud diferencias significativas ( $P < 0.05$ ). Se mostró mayores valores en todas las variables climáticas en el bosque de Chaucha (Tabla 8).

**Tabla 8.** Variables climáticas y altitud obtenidos en dos pisos altitudinales (B. Chaucha y B. San Gerardo) dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Mediante ANOVA (Fisher;  $P < 0.05$ )

Variables Climáticas y Altitud	B. Chaucha	B. San Gerardo	F	P
-----------------------------------	------------	----------------	---	---

PMA (mm)	1236.03	825.89	771.30	<0.0001
TMA (°C)	17.50	13.66	110.74	<0.0001
TMM (°C)	11.64	8.22	115.11	<0.0001
TMINA (°C)	6.13	3.42	109.85	<0.0001
Altitud (m s.n.m.)	2725	3377.50	191.41	<0.0001

Todas las correlaciones de Pearson entre los rasgos funcionales con las variables de climáticas, y de altitud se muestran en el (Anexo 3). De todas estas correlaciones 30 mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) (Tabla 9). Las correlaciones que presentaron mayores o fuertes valores según el coeficiente de Pearson con  $\geq 0.7$ ;  $P\text{-valor} \leq 0.005$  fueron dos positivas, entre: altitud con el diámetro a la altura del pecho - DAP; altitud con altura de los árboles - H. También se registraron cinco correlaciones negativas: precipitación media anual con el diámetro a la altura del pecho - DAP; temperatura máxima anual con el diámetro a la altura del pecho - DAP; temperatura media anual con el diámetro a la altura del pecho - DAP, precipitación media anual con altura - H; precipitación media anual con área foliar específica - AFE.



**Tabla 9.** Correlaciones de Pearson ( $P < 0.05$ ) entre variables de rasgos funcionales y variables de clima obtenidos en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas.

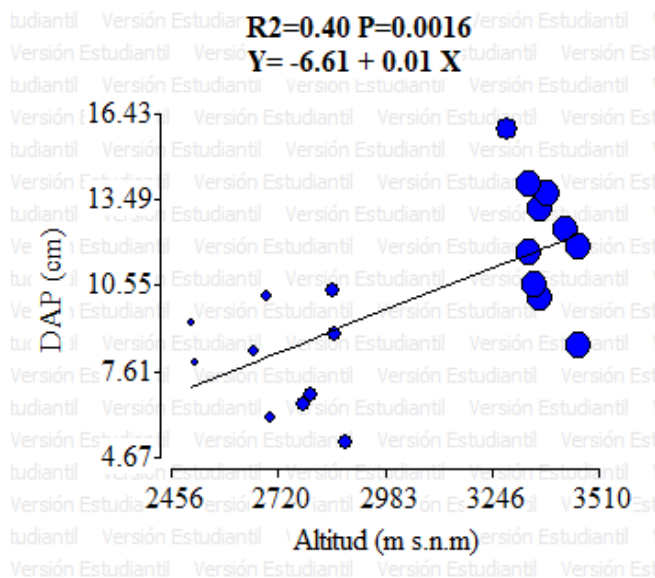
Variable (1)	Variable (2)	N	Pearson	p-valor	Variable (1)	Variable (2)	N	Pearson	p-valor
AF (mm <sup>2</sup> )	Altitud (m s.n.m.)	20	-0.6	0.0042	H (m)	Altitud (m s.n.m.)	20	<b>0.7</b>	0.0008
AF (mm <sup>2</sup> )	PMA (mm)	20	0.6	0.011	H (m)	PMA (mm)	20	<b>-0.8</b>	0
AF (mm <sup>2</sup> )	TMA(°C)	20	0.5	0.0283	H (m)	TMA (°C)	20	-0.6	0.0023
AF (mm <sup>2</sup> )	TMM(°C)	20	0.5	0.0249	H (m)	TMM (°C)	20	-0.6	0.0026
AF (mm <sup>2</sup> )	TMINA(°C)	20	0.5	0.0236	H (m)	TMINA (°C)	20	-0.6	0.0033
DAP (cm)	Altitud (m s.n.m.)	20	<b>0.7</b>	0.0016	MS (gg <sup>-1</sup> )	Altitud (m s.n.m.)	20	-0.5	0.042
DAP (cm)	PMA (mm)	20	<b>-0.8</b>	0.0001	MS (gg <sup>-1</sup> )	PMA (mm)	20	0.6	0.0035
DAP (cm)	TMA(°C)	20	<b>-0.7</b>	0.0017	MS (gg <sup>-1</sup> )	TMA (°C)	20	0.5	0.0355
DAP (cm)	TMM(°C)	20	<b>-0.7</b>	0.0018	MS (gg <sup>-1</sup> )	TMM (°C)	20	0.5	0.0361
DAP (cm)	TMINA(°C)	20	-0.6	0.0024	MS (gg <sup>-1</sup> )	TMINA (°C)	20	0.5	0.0372
DM (g cm <sup>-3</sup> )	PMA (mm)	20	0.5	0.0338	AFE (mm <sup>2</sup> /ml)	Altitud (m s.n.m.)	20	0.6	0.0029
DM (g cm <sup>-3</sup> )	TMA(°C)	20	0.5	0.0153	AFE (mm <sup>2</sup> /ml)	PMA (mm)	20	<b>-0.8</b>	0.0001
DM (g cm <sup>-3</sup> )	TMM(°C)	20	0.5	0.0168	AFE (mm <sup>2</sup> /ml)	TMA (°C)	20	-0.6	0.0039



DM (g cm <sup>-3</sup> )	TMINA(°C)	20	0.5	0.0183	AFE (mm <sup>2</sup> /ml)	TMM (°C)	20	-0.6	0.0041
GF (mm)	PMA (mm)	20	0.5	0.0385	AFE (mm <sup>2</sup> /ml)	TMINA (°C)	20	-0.6	0.0046

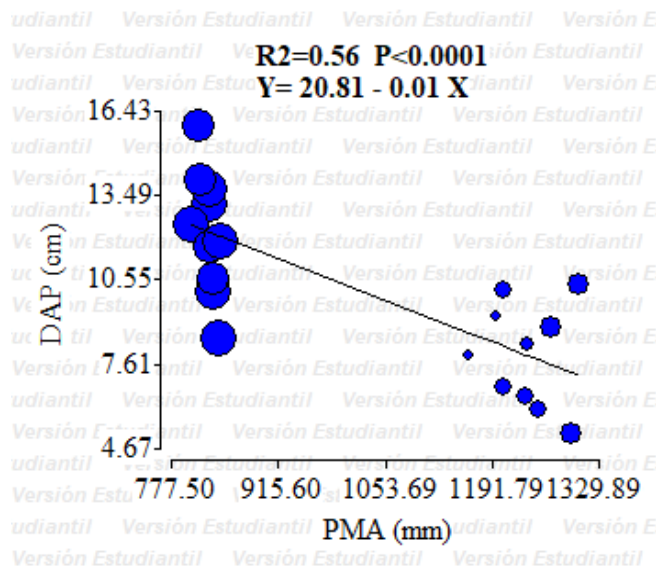
AF = área foliar (mm<sup>2</sup>); DAP= diámetro a la altura del pecho (cm); DM = densidad de la madera (g cm<sup>-3</sup>); GF= grosor foliar (mm); H= altura máxima (m); MS= materia seca foliar (gg<sup>-1</sup>); AFE= área foliar específica (mm<sup>2</sup>/ml); PMA: Precipitación media anual (mm); TMA: Temperatura máxima anual (°C); TMINA: Temperatura mínima anual (°C); TMM: Temperatura media anual (°C).

El análisis de regresión lineal mostró que el diámetro a la altura del pecho DAP (Y), registró una relación positiva y significativa estadísticamente con la altitud (X) ( $R^2 = 0.40$ ;  $P = 0.0016$ ) (Figura 4). Aquí el diámetro a la altura del pecho-DAP fue mayor en las parcelas ubicadas a mayor altitud, según el tamaño de los círculos.



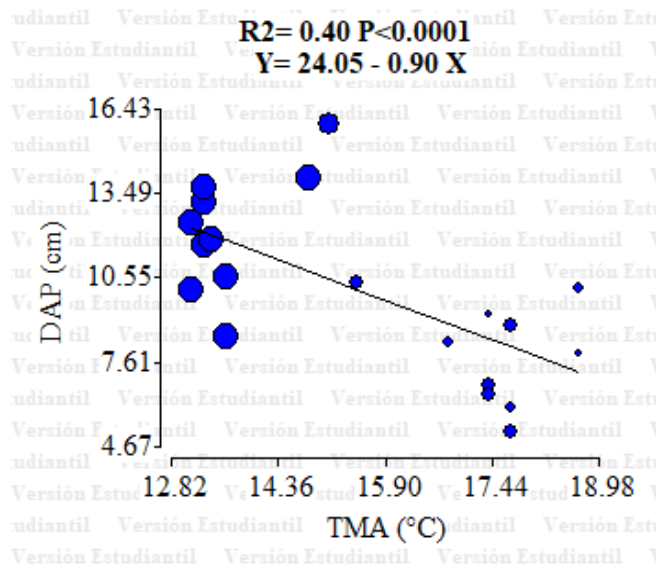
**Figura 4.** Regresión lineal entre Altitud con diámetro a la altura del pecho (DAP) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan las parcelas ubicadas de menor a mayor altitud.

El análisis de regresión lineal mostró que la precipitación media anual PMA (X), registró una relación negativa y significativa estadísticamente con el diámetro a la altura del pecho – DAP (Y) ( $R^2 = 0.56$ ;  $P < 0.0001$ ) (Figura 5). Aquí el diámetro a la altura del pecho DAP fue mayor en las parcelas ubicadas a mayor altitud, según el tamaño de los círculos, en donde es menor la precipitación media anual.



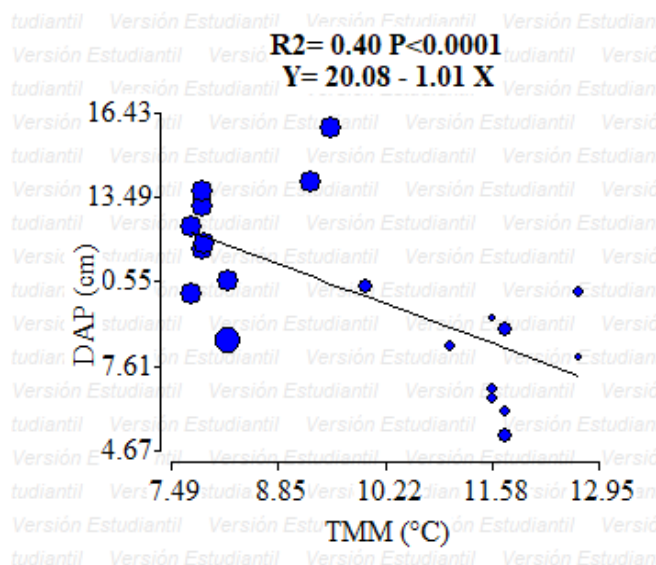
**Figura 5.** Regresión lineal entre la relación precipitación media anual (PMA) con diámetro a la altura del pecho (DAP) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan sitios de menor a mayor altitud.

El análisis de regresión lineal mostró que el diámetro a la altura del pecho DAP (X), registró una relación negativa y significativa estadísticamente con la temperatura máxima anual -TMA (Y) ( $R^2 = 0.40$ ;  $P < 0.0001$ ) (Figura 6). Se demuestra que el diámetro a la altura del pecho fue mayor en las parcelas ubicadas a mayor altitud, según el tamaño de los círculos, en donde es menor la temperatura máxima anual.



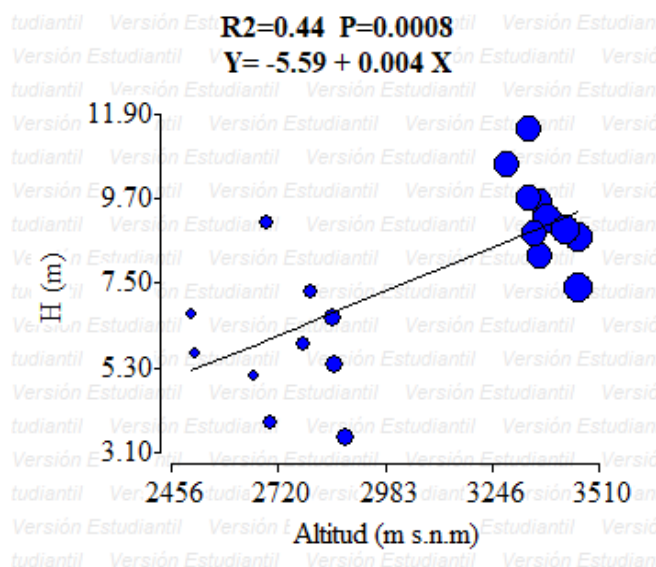
**Figura 6.** Regresión lineal entre la relación temperatura máxima anual con diámetro a la altura del pecho (DAP) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan sitios de menor a mayor altitud.

El análisis de regresión lineal mostró que el diámetro a la altura del pecho – DAP (X), registró una relación negativa y significativa estadísticamente con la temperatura media mensual – TMM (Y) ( $R^2 = 0.40$ ;  $P < 0.0001$ ) (Figura 7). Se puede evidenciar que el DAP fue mayor en las parcelas ubicadas a mayor altitud, según el tamaño de los círculos, en donde es menor la precipitación media anual.



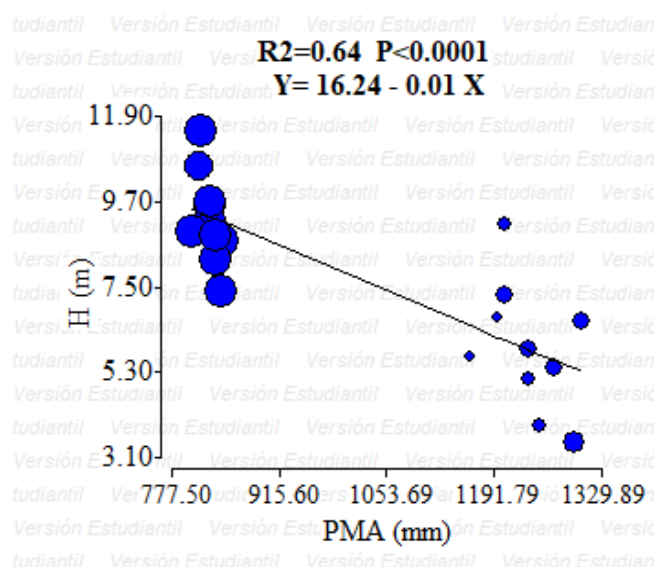
**Figura 7.** Regresión lineal entre la relación temperatura media anual (TMM) con diámetro a la altura del pecho (DAP) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan sitios de menor a mayor altitud.

El análisis de regresión lineal mostró que la altitud (X) registró una relación positiva y significativa estadísticamente con la altura máxima - H (Y) ( $R^2 = 0.44$ ;  $P = 0.0008$ ) (Figura 8). Se puede evidenciar la altura fue mayor en las parcelas ubicadas a mayor altitud, según el tamaño de los círculos.



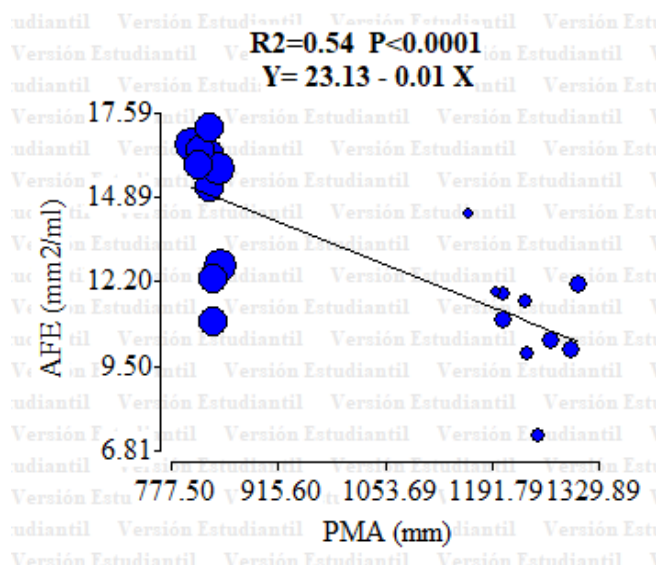
**Figura 8.** Regresión lineal entre la altitud con altura ( $H$ ), en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan sitios de menor a mayor altitud.

El análisis de regresión lineal mostró que la precipitación media anual - PMA presentó una relación negativa y significativa estadísticamente con la altura máxima -  $H$  ( $R^2 = 0.64$ ;  $P < 0.0001$ ) (Figura 9). Se muestra que la altura promedio de los árboles fue mayor en las parcelas ubicadas a mayor altitud, según el tamaño de los círculos, en donde la precipitación media anual es menor.



**Figura 9.** Regresión lineal entre la precipitación media anual (PMA) con altura total ( $H$ ) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan sitios de menor a mayor altitud.

El análisis de regresión lineal mostró que la precipitación media anual - PMA ( $X$ ) registró una relación negativa y significativa estadísticamente con área foliar específica - AFE ( $Y$ ) ( $R^2 = 0.54$ ;  $P = 0.0001$ ) (Figura 10). El área foliar específica fue mayor en las parcelas ubicadas a mayor altitud, según el tamaño de los círculos, en donde la precipitación media anual es menor.



**Figura 10.** Regresión lineal entre Precipitación media anual (PMA) con el área foliar específica (AFE) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan las parcelas ubicadas de menor a mayor.

### 7.3. Relaciones entre rasgos funcionales con biomasa aérea (tercer objetivo específico)

La biomasa aérea evaluada dentro del área de estudio presentó alta variación con 12.18 veces de diferencia entre los valores mínimos y máximos registrados en las 20 parcelas (Tabla 10). Estas variaciones se la pueden evidenciar a través del coeficiente de variación.

La biomasa aérea - B registró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con mayores valores para el bosque ubicado en San Gerardo a diferencia del bosque ubicado en Chaucha (Tabla 11).

**Tabla 10.** Biomasa aérea y sus valores medios, desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas.

Variable	N	Media	D.E.	CV	Mínimo	Máximo
Biomasa aérea (Mg/ha)	20	199.82	116.04	58.07	32.64	397.86



**Tabla 11.** Biomasa aérea obtenidos en dos pisos altitudinales (*B. Chaucha* y *B. San Gerardo*) dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. mediante ANOVA (Fisher;  $P < 0.05$ )

Variable	B. Chaucha	B. San Gerardo	F	P
Biomasa aérea (Mg/ha)	103.13	296.51	48.88	<0.0001

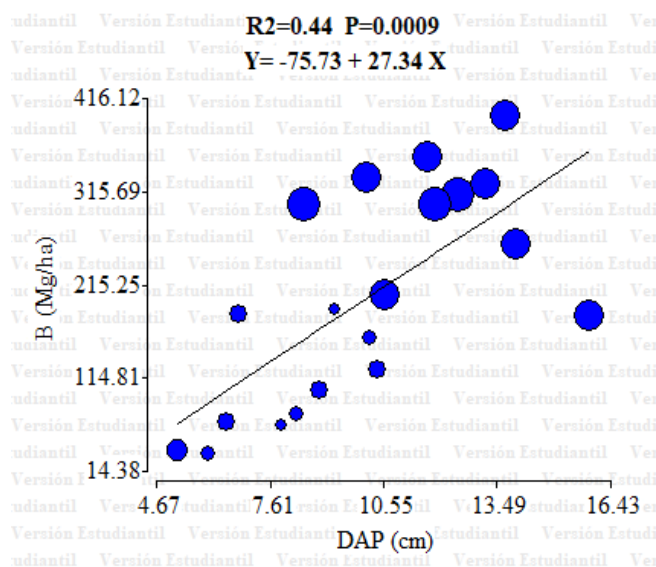
El mayor número de rasgos funcionales se relacionaron significativamente con la biomasa aérea ( $P \leq 0.005$ ) (Tabla 12). Dos relaciones no presentaron significancias estadísticas: área foliar con biomasa aérea y grosor foliar con biomasa aérea (Tabla 12). Las correlaciones que presentaron valores altos según el coeficiente de correlación de Pearson con  $\geq 0.7$ ; P-valor  $\leq 0.005$  fueron tres positivas: diámetro a la altura del pecho con biomasa aérea; altura máxima con biomasa aérea y área foliar específica con biomasa aérea.

**Tabla 12.** Correlaciones de Pearson entre variables de Biomasa aérea y rasgos funcionales obtenidos en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas.

Variable (1)	Variable (2)	Numero de parcelas	Pearson	p-valor
AF (mm <sup>2</sup> )	B (Mg/ha)	20	-0.4	0.0722
AFE (mm <sup>2</sup> /ml)	B (Mg/ha)	20	<b>0.7</b>	0.0004
DAP (cm)	B (Mg/ha)	20	<b>0.7</b>	0.0009
Den (g cm <sup>-3</sup> )	B (Mg/ha)	20	-0.5	0.0157
GF (gr)	B (Mg/ha)	20	-0.3	0.1472
H (m)	B (Mg/ha)	20	<b>0.8</b>	0.0001
CFMS (gr)	B (Mg/ha)	20	-0.5	0.0215

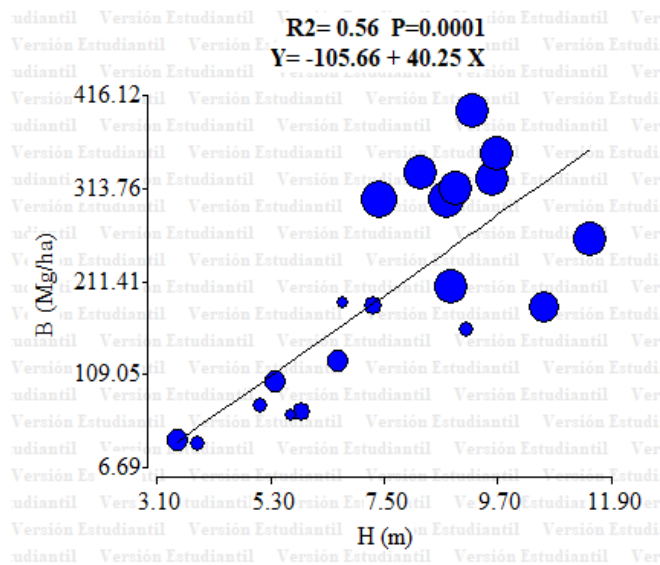
AF = área foliar (mm<sup>2</sup>); DAP= diámetro a la altura del pecho (cm); Den= densidad de la madera (g cm<sup>-3</sup>); GF= grosor foliar (gg<sup>-1</sup>); H= altura máxima (m); MS= materia seca foliar (gg<sup>-1</sup>); AFE= área foliar específica (mm<sup>2</sup>/ml), B= biomasa aérea (Mg/ha)

El análisis de regresión lineal mostró que el diámetro a la altura del pecho – DAP (X), registró una relación positiva y significativa estadísticamente con la biomasa aérea – B (Y) ( $R^2 = 0.44$ ;  $P = 0.0009$ ) (Figura 11). Aquí la biomasa aérea fue mayor en las parcelas ubicadas a mayor altitud, según el tamaño de los círculos. En donde el diámetro a la altura del pecho fue mayor.



**Figura 11.** Regresión lineal entre el diámetro a la altura del pecho (DAP) con biomasa aérea (B) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan sitios de menor a mayor altitud.

La altura máxima - H (X), registró una relación positiva y significativa estadísticamente con la biomasa aérea - B (Y) ( $R^2 = 0.56$ ;  $P = 0.0001$ ) (Figura 12). Se puede evidenciar que la biomasa aérea fue mayor en las parcelas ubicadas a mayor altitud, según el tamaño de los círculos, en donde la altura arbórea máxima fue mayor.



**Figura 12.** Regresión lineal entre la altura máxima (H) con biomasa aérea (B) en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. Círculos de menor a mayor tamaño representan sitios de menor a mayor altitud.

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1. “Grupos funcionales de plantas en bosques de montaña en el Macizo del Cajas”

La similitud de los rasgos funcionales o características morfológicas permitió identificar especies pertenecientes a los grupos funcionales de las conservacionistas y adquisitivas. Las primeras se destacan por poseer menor área foliar - AF, menor área foliar específica – AFE, mayores valores de densidad - DM, grosor foliar - GF materia seca - MS. En este grupo funcional, las familias Asteraceae, Lauraceae, Primulaceae y Proteaceae registraron más de cinco especies. Ante esto se puede inferir que estas familias botánicas, a excepción de la familia Asteraceae, poseen especies heliófitas durables y esciófitas, propias de bosques maduros o de sucesión avanzada en la región tropical (Felker et al.; Lopes & Gonçalves, 2007) especialmente las especies de los géneros *Myrsine*, *Cybianthus*, *Aniba* y *Aiouea*. Estudios similares se han desarrollado en bosques neotropicales en donde los rasgos funcionales han permitido diferenciar especies según su funcionalidad hacia el ecosistema; así Bermeo (2010) en bosques primarios y secundarios de Costa Rica, identificó tres grupos funcionales, en donde las especies más determinantes estaban distribuidas o compartidas en los dos tipos de bosques, primarios y secundarios.

En el segundo grupo funcional de especies adquisitivas, los promedios de los rasgos se relacionan con los grupos taxonómicos que poseen características del grupo adquisitivo. En este grupo funcional, el mayor número de especies pertenecen a las familias botánicas Asteraceae, Melastomataceae y Solanaceae. Estas familias con sus especies y los valores cuantitativos de los rasgos funcionales aportan a la separación de los respectivos grupos. Se afirma que estas familias botánicas, contienen especies ecológicamente conocidas como

heliófitas o también de pioneras, especialmente las especies de los géneros *Baccharis*, *Solanum* y *Miconia* (Bejarano, 2012). Estos géneros están presentes en bosques secundarios y también en bosques primarios, en donde existen claros de luz, producto de la dinámica o caída natural de árboles de gran tamaño como lo afirma Ortiz, Hernandez, and Schongart (2017). Esta última particularidad se observa a lo largo de toda el área de estudio, especialmente en las parcelas en donde existen marcadas pendientes.

## **8.2. Rasgos funcionales de la vegetación de bosques andinos varían conforme se incrementa la precipitación y temperatura**

Los resultados de la presente investigación muestran que la altitud está altamente relacionada con variables ambientales de clima y precipitación. Las correlaciones positivas y significativas se registraron entre la altitud y el diámetro a la altura del pecho – DAP. Se ha documentado que el DAP está altamente correlacionado positivamente con la biomasa de elementos leñosos (Shen et al., 2016). Ante los resultados de la presente investigación y los incrementos positivos de DAP (biomasa) a favor de la altitud, son datos atípicos para los resultados registrados en otros sitios dentro de los Andes. Según estudio realizado por Clark and Clark (1996) en bosques tropicales y subtropicales indica que existe un incremento en el contenido de biomasa con relación a la presencia de especies arbóreas que registran un DAP mayor a 70 cm. En nuestro estudio en las parcelas ubicadas a mayor altitud, algunas especies presentaron un valor de DAP superior a 70 cm. Sin embargo en estos sitios, investigaciones locales (Homeier et al., 2010) y regionales (Girardin et al., 2014) han documentado la disminución de DAP y biomasa conforme se incrementa la altitud. Bajo estos resultados no similares se puede deducir pasados evolutivos diferentes en las especies, las cuales según sus características fenotípicas y genotípicas presenten diferentes condiciones de adaptación en

las diferentes localidades. También se puede deducir preliminarmente que existen variaciones ambientales atípicas en nuestro contexto de estudio, las cuales influyen sobre nuestras variables de investigación (en este caso el DAP); estas influencias deberían ser indagadas en estudios o análisis posteriores con mayor profundidad para llegar a entender procesos eco fisiológicos que determinan las existencias florísticas taxonómicas y estructurales en los sitios mencionados.

La correlación expresada en el párrafo anterior, concuerda con el estudio realizado en México por Álvarez-Arteaga, García Calderón, Krasilnikov, and García-Oliva (2013) en donde el DAP aumento conforme se incrementó la altitud. Dentro de este estudio, se afirma que variables predictoras como la nubosidad o lluvia horizontal influyen sobre estos patrones de distribución. Estos resultados se asocian directamente con los registrados en la correlación entre temperatura media anual y máxima con el diámetro a la altura del pecho-DAP (Figuras 6 y 7), debido a que la temperatura varia y es dependiente de la altitud. También condiciona muchos procesos eco fisiológicos de las plantas como la fotosíntesis, la respiración, nutrición vegetal, germinación de las semillas, etc. los cuales son altamente evidentes y heterogéneos en gradientes ambientales (Leigh Jr, 1975).

Los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con la investigación realizada por Díaz Santos (2017), en donde se utilizó el DAP como variable principal para estimar el carbono aéreo almacenado en la vegetación leñosa y su relación con factores ambientales en bosques naturales centroamericanos. Aquí, el carbono registró una relación negativa y significativa, lo cual concuerda con el estudio realizado por Riofrio and Grijalva (2013) en donde se registró que conforme aumenta el diámetro a la altura del pecho DAP en especies forestales, se incrementa la biomasa, la cual es el insumo principal para calcular el

carbono. Este y otros estudios marcan la relevancia de esta variable (DAP) de la vegetación en la aplicación de estudios ecológicos específicos (Cuenca, Jadán, Cueva, & Aguirre, 2017).

La relación negativa y significativa que existe entre la precipitación media anual – PMA y diámetro a la altura del pecho – DAP. Como es conocido que el DAP está correlacionada positivamente con la biomasa de vegetación leñosa (Shen et al., 2016). Estos resultados no coinciden con los reportados por Lourens Poorter et al. (2015) quienes realizaron su investigación en bosques tropicales en donde registraron que el mayor indicador de la estimación de biomasa área fue la precipitación; además mostraron que la relación existente entre biomasa aérea y precipitación que fue negativa en precipitaciones inferiores a los 1000 mm de precipitación.

La relación positiva entre la altura de los árboles con la altitud (Figura 8), afirman como resultados del presente estudio que mientras la altitud asciende también se incrementan significativamente los valores de la altura en los árboles. Al igual que con el patrón de distribución del diámetro o biomasa, los presentes resultados también son atípicos en comparación a lo registrado en varias investigaciones dentro de los Andes. Así, en el estudio realizado por Grubb (1977) en bosque montano trópico húmedo se registró que con el aumento de la altitud el bosque cambia fuertemente sus características, en donde lo más evidente fue la disminución en la altura de los árboles, además de presentar muchos cambios en las formas de vida y la fisonomía de las plantas (Girardin et al., 2014). Esta información concuerda con la investigación de Coomes and Allen (2007) en bosques montañosos quienes demostraron que el crecimiento de los árboles disminuye a mayor altitud. Las afirmaciones ya mencionadas han sido justificadas en un estudio realizado por Bach et al. (2003) en donde se menciona que a mayor altitud o elevación existe un aumento de nubosidad lo cual provoca

la disminución solar indispensable para el desarrollo ecofisiológico de la vegetación leñosa. Como se sabe una menor capacidad fotosintética en las especies leñosas influye negativamente sobre el crecimiento de las plantas (Coomes & Allen, 2007).

La correlación negativa que existe entre altura máxima de los árboles - H con precipitación media anual - PMA demuestra que la mayor precipitación se registra en las partes bajas de la zona de investigación (Figura 9). Los resultados registrados no son consistentes con los registrados por Shen et al. (2014) en donde se manifiestan que la altura máxima de los árboles - H está en clara dependencia de la disponibilidad de agua. Como justificación preliminar sobre los presentes resultados están los rendimientos de la vegetación leñosa, los cuales tienen diferentes respuestas cuando existe heterogeneidad de hábitats, asociado a los procesos *ecosistémicos* intra e interespecíficos, en donde la disponibilidad de agua y nutrientes en un ecosistema es desigual.

En cuanto a la correlación positiva y significativa entre el área foliar específica - AFE y la precipitación media anual - PMA (Figura 10) se consolidan con la investigación realizada por Pedraza (2018) en donde se evidenció que el aumento de las precipitaciones favorece la disminución del AFE en especies de páramo. Validando la correlación anterior, el estudio realizado por Cornelissen et al. (2003) indica que existe una relación directa de los rasgos foliares, como el área foliar específicas - AFE con variables climáticas, en donde el aumento de precipitación tiende a desarrollar hojas más resistentes en plantas de vegetación leñosa.

### **8.3. Relaciones entre rasgos funcionales con biomasa aérea**

Las correlaciones registradas en este estudio entre la biomasa aérea - B con el diámetro a la altura del pecho - DAP fue positiva y significativa (Figura 11). Es conocido que la



biomasa aérea está relacionada directamente con el DAP, lo cual está difundido en estudios regionales (Finegan, Peña-Claros, de Oliveira, Ascarrunz, Bret-Harte, Carreño-Rocabado, Casanoves, Díaz, Eguiguren Velepucha, et al., 2015); aquí se afirma que el diámetro a la altura del pecho – DAP es un buen predictor de la biomasa aérea y se demuestra que esta variable está relacionada directamente con el crecimiento de los árboles.

En cuanto a la relación positiva entre la altura máxima del árbol - H con biomasa aérea– B (Figura 12), se puede afirmar que mientras la altura de los árboles tiene mayores valores también se incrementa significativamente los valores de la biomasa aérea. Esto coincide con el estudio regional realizado por Finegan, Peña-Claros, de Oliveira, Ascarrunz, Bret-Harte, Carreño-Rocabado, Casanoves, Díaz, Eguiguren Velepucha, et al. (2015) en bosques tropicales de Bolivia, Costa Rica, Brasil en donde se mostró que a mayor altura de las especies, la biomasa aérea se incrementa debido a que la vegetación leñosa con mayor altura tiende a obtener una mayor productividad, lo cual genera mayores valores de biomasa. Asociado a este patrón, la biomasa se incrementa con especies conservadoras de rasgos foliares bajo especialmente del AFE. Esta relación confirma lo importante del potencial de la estructura de las especies jóvenes y maduras para el mantenimiento de la funcionalidad del ecosistema en relación a la permanencia de los servicios y procesos ecosistémicos (L Poorter et al., 2008; Thomas & Bazzaz, 1999).

## 9. CONCLUSIONES

En el presente estudio, a partir de rasgos funcionales foliares se identificó dos grupos funcionales de plantas, diferenciados claramente por sus características morfológicas. Por lo tanto, se obtuvo el conglomerado o grupo uno, especies conservacionistas y en el conglomerado o grupo dos especies adquisitivas. En cuanto a las familias botánicas identificadas, la familia Asteraceae está presente en los dos grupos funcionales tanto conservacionistas y adquisitivas.

Las variables climáticas en diferentes pisos altitudinales pueden presentar cambios en los rasgos funcionales a lo largo de gradientes altitudinales. De las relaciones entre rasgos funcionales con variables climáticas y de altitud se registró 30 correlaciones significativas, de estos cinco mostraron correlaciones fuertes.

De las anteriores correlaciones el diámetro a la altura del pecho - DAP y mostró estar fuertemente relacionado con las variables de precipitación, temperatura y altitud. En el presente estudio se muestra que la precipitación es un factor importante en el comportamiento de ciertos rasgos funcionales como la altura máxima – H y área foliar específica AFE.

De las relaciones entre rasgos funcionales y biomasa aérea se mostró 5 correlaciones significativas. Sin embargo, solo tres correlaciones mostraron valores fuertes, y su relación positiva con biomasa aérea – B. Los rasgos basales mayormente estimadores de la biomasa aérea es el diámetro a la altura del pecho-DAP y la altura máxima de los árboles-H.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

- Álvarez-Arteaga, G., García Calderón, N. E., Krasilnikov, P., & García-Oliva, F. (2013). Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la sierra norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*, 47(2), 171-180.
- Anderson, E. P., Marengo, J., Villalba, R., Halloy, S., Young, B., Cordero, D., . . . Herzog, S. K. (2017). Consequences of climate change for ecosystems and ecosystem services in the tropical Andes.
- Araya, J., Casasola, F., Ibrahim, M., Ramírez, E., Sepúlveda, C., Villanueva, C., . . . Elena, M. (2007). Pago por servicios ambientales y cambios en los usos de la tierra en paisajes dominados por la ganadería en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Payment for environmental services and land-use changes in cattle dominated landscapes in the sub-humid tropics of Nicaragua and Costa Rica (858782712X)*. Retrieved from
- Bach, K., Schawe, M., Beck, S., Gerold, G., Gradstein, S., & Moraes, R. (2003). Vegetación, suelos y clima en los diferentes pisos altitudinales de un bosque montano de Yungas, Bolivia: Primeros resultados. *Ecología en Bolivia*, 38(1), 3-14.
- Báez, S., & Homeier, J. (2018). Functional traits determine tree growth and ecosystem productivity of a tropical montane forest: Insights from a long-term nutrient manipulation experiment. *Global Change Biology*, 24(1), 399-409.
- Bejarano, J. H. S. (2012). Evaluación de la regeneración de *Acacia decurrens*, *Acacia melanoxylon* y *Ulex europaeus* en áreas en proceso de restauración ecológica. *Revista Luna Azul*(34), 66-80.
- Bermeo, D. (2010). Determinación y caracterización de tipos funcionales de plantas (TFPs) en bosques secundarios dentro de un gradiente altitudinal y su relación con variables bioclimáticas.
- Brown, C. A. (1997). Acquisition of segmental structure: Consequences for speech perception and second language acquisition. McGill University Montreal, Canada.
- Cabrera, M., & Ramírez, W. (2014). Restauración ecológica de los páramos de Colombia: Transformación y herramientas para su conservación: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Investigación ....
- Cabrera, O., Benítez, Á., Cumbicus, N., Naranjo, C., Ramón, P., Tinitana, F., & Escudero, A. (2019). Geomorphology and Altitude Effects on the Diversity and Structure of the Vanishing Montane Forest of Southern Ecuador. *Diversity*, 11(3), 32.
- Casanoves, F., Pla, L., & Di Rienzo, J. A. (2011). Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. *Serie técnica, Informe técnico*, 384.
- Cavanaugh, K. C., Gosnell, J. S., Davis, S. L., Ahumada, J., Boundja, P., Clark, D. B., . . . Rovero, F. (2014). Carbon storage in tropical forests correlates with taxonomic diversity and functional dominance on a global scale. *Global Ecology and Biogeography*, 23(5), 563-573.
- Clark, D. B., & Clark, D. A. (1996). Abundance, growth and mortality of very large trees in neotropical lowland rain forest. *Forest ecology and management*, 80(1-3), 235-244.
- Conti, G., & Díaz, S. (2013). Plant functional diversity and carbon storage—an empirical test in semi-arid forest ecosystems. *Journal of Ecology*, 101(1), 18-28.
- Coomes, D. A., & Allen, R. B. (2007). Effects of size, competition and altitude on tree growth. *Journal of Ecology*, 95(5), 1084-1097.

- Cornelissen, J., Lavorel, S., Garnier, E., Diaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D., . . . Van Der Heijden, M. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian journal of Botany*, 51(4), 335-380.
- Cramer, W., Bondeau, A., Woodward, F. I., Prentice, I. C., Betts, R. A., Brovkin, V., . . . Friend, A. D. (2001). Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO<sub>2</sub> and climate change: results from six dynamic global vegetation models. *Global Change Biology*, 7(4), 357-373.
- Cubides, P. I., & Cardona, J. U. (2011). Anthropogenic disturbance and edge effects on anuran assemblages inhabiting cloud forest fragments in Colombia. *Natureza & Conservacao*, 9, 39-46.
- Cuenca, M. E., Jadán, O., Cueva, K., & Aguirre, C. (2017). Carbono y ecuaciones alométricas para grupos de especies y bosque de tierras bajas, Amazonía Ecuatoriana. *CEDAMAZ*, 4(1).
- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S. L., Swenson, N. G., & Zanne, A. E. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology letters*, 12(4), 351-366.
- Chave, J., Muller-Landau, H. C., Baker, T. R., Easdale, T. A., Steege, H. t., & Webb, C. O. (2006). Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. *Ecological applications*, 16(6), 2356-2367.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B., . . . Goodman, R. C. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177-3190.
- Deckers, B., Verheyen, K., Hermy, M., & Muys, B. (2004). Differential environmental response of plant functional types in hedgerow habitats. *Basic and Applied Ecology*, 5(6), 551-566.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2011). *InfoStat v2011*. InfoStat Group, College of Agricultural Sciences, National University of Córdoba: Argentina.
- Díaz, S., Fargione, J., Chapin III, F. S., & Tilman, D. (2006). Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS biology*, 4(8), e277.
- Díaz, S., Lavorel, S., de Bello, F., Quétier, F., Grigulis, K., & Robson, T. M. (2007). Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52), 20684-20689.
- Díaz, S., Quétier, F., Cáceres, D. M., Trainor, S. F., Pérez-Harguindeguy, N., Bret-Harte, M. S., . . . Poorter, L. (2011). Linking functional diversity and social actor strategies in a framework for interdisciplinary analysis of nature's benefits to society. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(3), 895-902.
- Díaz Santos, F. G. (2017). Estimación del carbono aéreo almacenado y su relación con factores ambientales, en tres paisajes boscosos centroamericanos.
- Escalante, C. A., Oliva, E. S., & Quintana, E. D. (2019). Rasgos funcionales de los árboles de bosque de montaña favorecen la estrategia de conservación de las especies a los riesgos ambientales, Tingo María-Peru. *Revista Boletín Redipe*, 8(7), 99-112.
- Estrella, B., & Diego, F. (2010). Determinación y caracterización de tipos funcionales de plantas (TFPs) en bosques secundarios dentro de un gradiente altitudinal y su relación con variables bioclimáticas. Retrieved from

- Farley, K. A., Bremer, L. L., Harden, C. P., & Hartsig, J. (2013). Changes in carbon storage under alternative land uses in biodiverse Andean grasslands: implications for payment for ecosystem services. *Conservation Letters*, 6(1), 21-27.
- Felker, R. M., Roveder, A. P. M., de Moraes Stefanello, M., Hummel, R. B., Piaia, B. B., & Piazza, E. M. Caracterização florística e estrutural de um fragmento florestal na região central do Rio Grande do Sul.
- Finegan, B., Peña-Claros, M., de Oliveira, A., Ascarrunz, N., Bret-Harte, M. S., Carreño-Rocabado, G., . . . Fernandez, F. (2015). Does functional trait diversity predict above-ground biomass and productivity of tropical forests? Testing three alternative hypotheses. *Journal of Ecology*, 103(1), 191-201.
- Finegan, B., Peña-Claros, M., de Oliveira, A., Ascarrunz, N., Bret-Harte, M. S., Carreño-Rocabado, G., . . . Fernandez, F. (2015). Does functional trait diversity predict above-ground biomass and productivity of tropical forests? Testing three alternative hypotheses. *Journal of Ecology*, 103(1), 191-201.
- Flynn, D. F., Gogol-Prokurat, M., Nogeire, T., Molinari, N., Richers, B. T., Lin, B. B., . . . DeClerck, F. (2009). Loss of functional diversity under land use intensification across multiple taxa. *Ecology letters*, 12(1), 22-33.
- Foster, P. (2001). The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews*, 55(1-2), 73-106.
- Garnier, E., & Navas, M.-L. (2012). A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(2), 365-399.
- Girardin, C. A., Farfan-Rios, W., Garcia, K., Feeley, K. J., Jørgensen, P. M., Murakami, A. A., . . . Fuentes Claros, A. F. (2014). Spatial patterns of above-ground structure, biomass and composition in a network of six Andean elevation transects. *Plant Ecology & Diversity*, 7(1-2), 161-171.
- Grubb, P. (1977). Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains: with special reference to mineral nutrition. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 8(1), 83-107.
- Herzog, S. K., Martínez, R., Jørgensen, P. M., & Tiessen, H. (2011). Climate change and biodiversity in the tropical Andes. *Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE)*, 348.
- Homeier, J., Breckle, S. W., Günter, S., Rollenbeck, R. T., & Leuschner, C. (2010). Tree diversity, forest structure and productivity along altitudinal and topographical gradients in a species-rich Ecuadorian montane rain forest. *Biotropica*, 42(2), 140-148.
- Jadán, O., Toledo, C., Tepán, B., Cedillo, H., Peralta, Á., Zea, P., . . . Vaca, C. (2017). Comunidades forestales en bosques secundarios alto-andinos (Azuay, Ecuador). *Bosque (Valdivia)*, 38(1), 141-154.
- Kazakou, E., Vile, D., Shipley, B., Gallet, C., & Garnier, E. (2006). Co-variations in litter decomposition, leaf traits and plant growth in species from a Mediterranean old-field succession. *Functional ecology*, 20(1), 21-30.
- Kier, G., Mutke, J., Dinerstein, E., Ricketts, T. H., Küper, W., Kreft, H., & Barthlott, W. (2005). Global patterns of plant diversity and floristic knowledge. *Journal of Biogeography*, 32(7), 1107-1116.

- Leigh Jr, E. G. (1975). Structure and climate in tropical rain forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 6(1), 67-86.
- Leps, J., De Bello, F., Lavorel, S., & Berman, S. (2006). Quantifying and interpreting functional diversity of natural communities: practical considerations matter. *Preslia*, 78(4), 481-501.
- Lopes, S. B., & Gonçalves, L. (2007). Elementos para aplicação prática das árvores nativas do sul do Brasil na conservação da biodiversidade. 7, 13.
- Martín-López, B., González, J. A., Díaz, S., Castro, I., & García-Llorente, M. (2007). Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la diversidad funcional. *Revista Ecosistemas*, 16(3).
- Mason, N. W., MacGillivray, K., Steel, J. B., & Wilson, J. B. (2003). An index of functional diversity. *Journal of vegetation science*, 14(4), 571-578.
- Matteucci, S. D., & Colma, A. (1982). Metodología para el estudio de la vegetación.
- Mogrovejo Jaramillo, P. R. (2017). Bosques y cambio climático en Ecuador: el regente forestal como actor clave en la mitigación del cambio climático. Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.
- Mutke, J., & Barthlott, W. (2005). Patterns of vascular plant diversity at continental to global scales. *Biologische skrifter*, 55(4), 521-531.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853.
- Ortiz, J., Hernandez, L., & Schongart, J. (2017). Crecimiento y rasgos funcionales de especies arbóreas en un bosque nublado tropical al sudeste de Venezuela. *Acta Botanica Venezuelica*, 40(2), 175-210.
- Osnas, J. L., Katabuchi, M., Kitajima, K., Wright, S. J., Reich, P. B., Van Bael, S. A., . . . Lichstein, J. W. (2018). Divergent drivers of leaf trait variation within species, among species, and among functional groups. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(21), 5480-5485.
- Pedraza, S. S. (2018). Evaluando caracteres funcionales de plantas en páramo y su relación con factores climáticos. Universidad del Rosario.
- Pennington, R. T., Lavin, M., Särkinen, T., Lewis, G. P., Klitgaard, B. B., & Hughes, C. E. (2010). Contrasting plant diversification histories within the Andean biodiversity hotspot. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(31), 13783-13787.
- Pla, L., Casanoves, F., & Di Rienzo, J. (2011). *Quantifying functional biodiversity*: Springer Science & Business Media.
- Pohle, P. (2014). Deforestation, environmental perception and rural livelihoods in tropical mountain forest regions of South Ecuador. *Institute of Mountain Research*, 190-210.
- Poorter, L., & Bongers, F. (2006). Leaf traits are good predictors of plant performance across 53 rain forest species. *Ecology*, 87(7), 1733-1743.
- Poorter, L., Van Der Sande, M., Thompson, J., Arets, E., Alarcón, A., Álvarez-Sánchez, J., . . . Boit, A. (2015). Diversity enhances carbon storage in tropical forests. *Global Ecology and Biogeography*, 24(11), 1314-1328.
- Poorter, L., Wright, S. J., Paz, H., Ackerly, D. D., Condit, R., Ibarra-Manríquez, G., . . . Mazer, S. (2008). Are functional traits good predictors of demographic rates? Evidence from five neotropical forests. *Ecology*, 89(7), 1908-1920.
- Pulido, C. R. M. (2014). Uso de rasgos funcionales de plantas como estimadores de carbono almacenado en biomasa aérea. *RIAA*, 5(2), 237-243.



- Rafiqpoor, D., Kier, G., & Kreft, H. (2005). Global centers of vascular plant diversity. *Nova Acta Leopoldina NF*, 92(342), 61-83.
- Rebok, S. (2003). La expedición americana de Alexander von Humboldt y su contribución a la ciencia del siglo XIX. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*(32 (3)), 441-458.
- Reich, P. B. (2014). The world-wide 'fast-slow' plant economics spectrum: a traits manifesto. *Journal of Ecology*, 102(2), 275-301.
- Riofrio, J., & Grijalva, J. (2013). Modelos para estimar la biomasa de especies forestales en sistemas agroforestales de la Ecorregión andina del Ecuador. Paper presented at the Congresos Forestales. Memorias VI congreso Forestal Español.
- Ruiz-Jaen, M. C., & Potvin, C. (2011). Can we predict carbon stocks in tropical ecosystems from tree diversity? Comparing species and functional diversity in a plantation and a natural forest. *New Phytologist*, 189(4), 978-987.
- Santiago-García, R. J., Finegan, B., & Bosque-Pérez, N. A. (2019). Soil is the main predictor of secondary rain forest estimated aboveground biomass across a neotropical landscape. *Biotropica*.
- Shen, Y., Santiago, L. S., Shen, H., Ma, L., Lian, J., Cao, H., . . . Ye, W. (2014). Determinants of change in subtropical tree diameter growth with ontogenetic stage. *Oecologia*, 175(4), 1315-1324.
- Shen, Y., Yu, S., Lian, J., Shen, H., Cao, H., Lu, H., & Ye, W. (2016). Tree aboveground carbon storage correlates with environmental gradients and functional diversity in a tropical forest. *Scientific reports*, 6, 25304.
- Swenson, N. G. (2011). The role of evolutionary processes in producing biodiversity patterns, and the interrelationships between taxonomic, functional and phylogenetic biodiversity. *American Journal of Botany*, 98(3), 472-480.
- Swenson, N. G., Anglada-Cordero, P., & Barone, J. A. (2010). Deterministic tropical tree community turnover: evidence from patterns of functional beta diversity along an elevational gradient. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1707), 877-884.
- Swenson, N. G., & Weiser, M. D. (2010). Plant geography upon the basis of functional traits: an example from eastern North American trees. *Ecology*, 91(8), 2234-2241.
- Tapia-Armijos, M. F., Homeier, J., Espinosa, C. I., Leuschner, C., & de la Cruz, M. (2015). Deforestation and forest fragmentation in South Ecuador since the 1970s—losing a hotspot of biodiversity. *PloS one*, 10(9), e0133701.
- Thomas, S., & Bazzaz, F. (1999). Asymptotic height as a predictor of photosynthetic characteristics in Malaysian rain forest trees. *Ecology*, 80(5), 1607-1622.
- Thuiller, W., Broennimann, O., Hughes, G., Alkemade, J. R. M., Midgley, G. F., & Corsi, F. (2006). Vulnerability of African mammals to anthropogenic climate change under conservative land transformation assumptions. *Global Change Biology*, 12(3), 424-440.
- Valencia, R. (2000). Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador: Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Vásquez-Valderrama, M., & Solorza-Bejarano, J. (2018). Agrupación funcional de especies vegetales para la restauración ecológica de ecosistemas de montaña, Bogotá, Colombia. *Colombia Forestal*, 21(1), 5-17.

- Vera, J. R. (2013). Rasgos morfofuncionales de las raíces de especies leñosas mediterráneas y su asociación micorrícica en un gradiente topográfico. (Licenciado en Biología Memoria para optar al título de Graduado en Biología ), Universidad de Sevilla Sevilla, España.
- Villéger, S., Mason, N. W., & Mouillot, D. (2008). New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology*, 89(8), 2290-2301.
- Weiher, E., Clarke, G. P., & Keddy, P. A. (1998). Community assembly rules, morphological dispersion, and the coexistence of plant species. *Oikos*, 309-322.
- Wright, I. J., Reich, P. B., Westoby, M., Ackerly, D. D., Baruch, Z., Bongers, F., . . . Diemer, M. (2004). The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428(6985), 821.
- Wright, S. J., Kitajima, K., Kraft, N. J., Reich, P. B., Wright, I. J., Bunker, D. E., . . . Díaz, S. (2010). Functional traits and the growth–mortality trade-off in tropical trees. *Ecology*, 91(12), 3664-3674.
- Young, K. R., & León, B. (1995). Distribution and conservation of Peru's montane forests: interactions between the biota and human society *Tropical montane cloud forests* (pp. 363-376): Springer.



**ANEXOS**

**Anexo 1.** Número de especies pertenecientes a cada familia botánica según su grupo funcional obtenidos en dos pisos altitudinales dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas.

<b>Grupo funcional de adquisitivas</b>		<b>Grupo funcional de conservacionistas</b>	
<b>Familia</b>	<b>Número de especies</b>	<b>Familia</b>	<b>Número de especies</b>
<b>Asteraceae</b>	18	Asteraceae	9
<b>Melastomataceae</b>	8	Lauraceae	7
<b>Solanaceae</b>	6	Primulaceae	7
<b>Chloranthaceae</b>	3	Proteaceae	6
<b>Araliaceae</b>	2	Solanaceae	5
<b>Boraginaceae</b>	2	Myrtaceae	4
<b>Lamiaceae</b>	2	Ericaceae	3
<b>Polygalaceae</b>	2	Melastomataceae	3
<b>Rubiaceae</b>	2	Myrsinaceae	2
<b>Symplocaceae</b>	2	Rosaceae	2
<b>Thymelaeaceae</b>	1	Symplocaceae	2
<b>Actinidiaceae</b>	1	Aquifoliaceae	1
<b>Bignoniaceae</b>	1	Araliaceae	1
<b>Celastraceae</b>	1	Boraginaceae	1
<b>Cleomaceae</b>	1	Cannabaceae	1
<b>Cunoniaceae</b>	1	Cardiopteridaceae	1
<b>Elaeocarpaceae</b>	1	Celastraceae	1

<b>Gentianaceae</b>	1	Chloranthaceae	1
<b>Gesneriaceae</b>	1	Clethraceae	1
<b>Indeterminada</b>	1	Clusiaceae	1
<b>Lauraceae</b>	1	Cornaceae	1
<b>Malpighiaceae</b>	1	Escalloniaceae	1
<b>Monimiaceae</b>	1	Euphorbiaceae	1
<b>Myrsinaceae</b>	1	Lamiaceae	1
<b>Onagraceae</b>	1	Loranthaceae	1
<b>Piperaceae</b>	1	Moraceae	1
<b>Sabiaceae</b>	1	Podocarpaceae	1
<b>Urticaceae</b>	1	Rubiaceae	1
<b>Verbenaceae</b>	1	Verbenaceae	1
<b>Viburnaceae</b>	1	Viburnaceae	1
<b>Total general</b>	67	<b>Total general</b>	69

**Anexo 2.** Rasgos funcionales obtenidos en dos pisos altitudinales (*B. Chaucha* y *B. San Gerardo*) dentro de bosques nativos del Macizo del Cajas. mediante ANOVA (Fisher;  $P < 0.05$ )

<b>Rasgos</b>	<b>B. Chaucha</b>	<b>B. San Gerardo</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>funcionales</b>				
AF (mm <sup>2</sup> )	5504.43	3738.01	9.56	0.0063
AFE (mm <sup>2</sup> /ml)	11.03	14.92	18.81	0.0004

DAP (cm)	7.95	12.21	23.34	0.0001
H (m)	5.92	9.26	27.60	0.0001
DM (g cm <sup>-3</sup> )	0.43	0.39	4.80	0.0419
GF (mm)	0.21	0.16	4.25	0.0541
MS (gg <sup>-1</sup> )	0.41	0.27	8.40	0.0096

**Anexo 3:** Correlaciones de Pearson entre los rasgos funcionales con las variables de clima, edáficas y de altitud

Variable (1)	Variable (2)	N	Pearson	p-valor
AF (mm2)	Altitud (m s.n.m.)	20	-0,6	0.0042
AF (mm2)	PMA (mm)	20	0.6	0.011
AF (mm2)	TMA (°C)	20	0.5	0.0283
AF (mm2)	TMM (°C)	20	0.5	0.0249
AF (mm2)	TMINA (°C)	20	0.5	0.0236
AFE (mm2/ml)	Altitud (m s.n.m.)	20	0.6	0.0029
AFE (mm2/ml)	PMA (mm)	20	-0.8	0.0001
AFE (mm2/ml)	TMA (°C)	20	-0.6	0.0039
AFE (mm2/ml)	TMM (°C)	20	-0.6	0.0041
AFE (mm2/ml)	TMINA (°C)	20	-0.6	0.0046
DAP (cm)	Altitud (m s.n.m.)	20	0.7	0.0016
DAP (cm)	PMA (mm)	20	-0.8	0.0001

DAP (cm)	TMA (°C)	20	-0.7	0.0017
DAP (cm)	TMM (°C)	20	-0.7	0.0018
DAP (cm)	TMINA (°C)	20	-0.6	0.0024
H (m)	Altitud (m s.n.m.)	20	0.7	0.0008
H (m)	PMA (mm)	20	-0.8	0
H (m)	TMA (°C)	20	-0.6	0.0023
H (m)	TMM (°C)	20	-0.6	0.0026
H (m)	TMINA (°C)	20	-0.6	0.0033
DM (g cm <sup>-3</sup> )	Altitud (m s.n.m.)	20	-0.4	0.0885
DM (g cm <sup>-3</sup> )	PMA (mm)	20	0.5	0.0338
DM (g cm <sup>-3</sup> )	TMA (°C)	20	0.5	0.0153
DM (g cm <sup>-3</sup> )	TMM (°C)	20	0.5	0.0168
DM (g cm <sup>-3</sup> )	TMINA (°C)	20	0.5	0.0183
GF (mm)	Altitud (m s.n.m.)	20	-0.3	0.1382
GF (mm)	PMA (mm)	20	0.5	0.0385
GF (mm)	TMA (°C)	20	0.3	0.1487
GF (mm)	TMM (°C)	20	0.3	0.1517
GF (mm)	TMINA (°C)	20	0.3	0.1714
MS (gg <sup>-1</sup> )	Altitud (m s.n.m.)	20	-0.5	0.042
MS (gg <sup>-1</sup> )	PMA (mm)	20	0.6	0.0035
MS (gg <sup>-1</sup> )	TMA (°C)	20	0.5	0.0355
MS (gg <sup>-1</sup> )	TMM (°C)	20	0.5	0.0361



MS (gg <sup>-1</sup> )	TMINA (°C)	20	0.5	0.0372
------------------------	------------	----	-----	--------

**Anexo 4:** Correlaciones de Pearson entre la Biomasa aérea con los rasgos funcionales

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
AF (mm <sup>2</sup> )	B_Mg/ha	20	-0.4	0.0722
DAP (cm)	B_Mg/ha	20	0.7	0.0009
Den (g cm <sup>-3</sup> )	B_Mg/ha	20	-0.5	0.0157
GF (mm)	B_Mg/ha	20	-0.3	0.1472
H (m)	B_Mg/ha	20	0.8	0.0001
MS (gg <sup>-1</sup> )	B_Mg/ha	20	-0.5	0.0215
AFE (mm <sup>2</sup> /ml)	B_Mg/ha	20	0.7	0.0004

**Anexo 5.** Hoja de campo datos de altura y diámetro a la altura del pecho

**PARCELA DE MUESTREO – PLANILLA DEL MEDIDOR**

Nombre de la parcela: ..... Fecha: .....

Responsable: ..... N° pag: .....

Subp	N°placa	DAP	Altura	Observaciones	Subp	N°placa	DAP	Altura	Observaciones




Anexo 6. Determinación de área foliar y área foliar específica



### Anexo 7. Determinación de la materia seca foliar



### Anexo 8. Determinación de la densidad de la madera

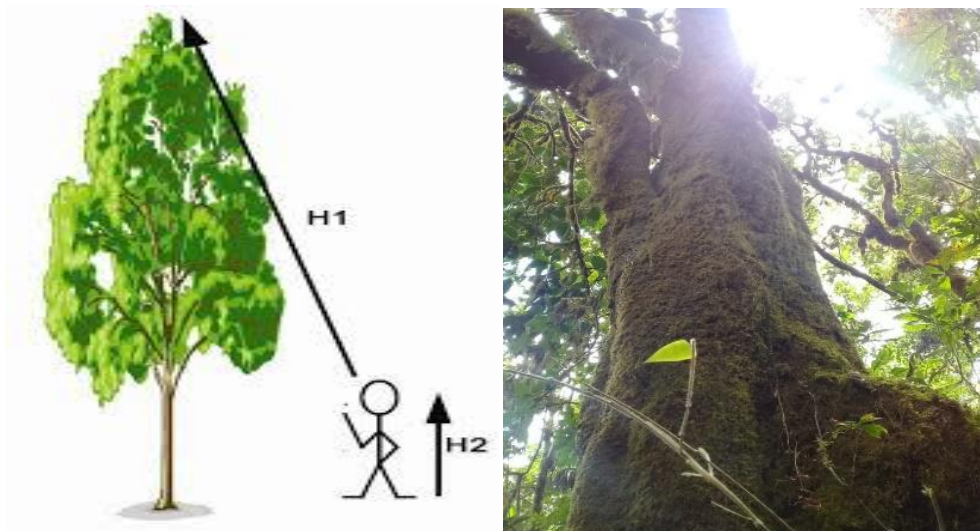




### Anexo 9. Determinación del diámetro a la altura del pecho



### Anexo 10. Determinación de la altura máxima de los árboles



### Anexo 11. Determinación del grosor foliar de las hojas



